

اسماء تلامذة فرقتي مدرسة المهندسخانة حال افتتاحها بالعباسية بسراي الزعفران

اسماء الفرقة الأولى

عدد	الاسم	
١	احمد زهني	
١	محمد صدقي	
١	يوسف حسني	— توفي
١	محمود سامي	
١	يوسف حبيب	
١	حسن فريد	
١	مصطفى فايد	
١	احمد حلمي	
١	محمد طلعت	
١	ابراهيم صبحي	— توفي
١	حسين فهمي	
١	احمد راشد	
١	محمد فهيم	— توفي
١	احمد كامل	
١	محمود صبري	
١	احمد عزمي	
١	محمود طلعت	— توفي
١	مصطفى صدقي	— توفي
١	عبد المجيد سامي	
١	سليم وهبي	
٢٠		

اسماء الفرقة الثانية

عدد	الاسم	
١	امين زكي	— توفي
١	خليل وهبي	
١	محمد فريد	
١	ابراهيم ثروت	
١	حسن شريف	
١	احمد رفعت	
١	محمد عصمت	
١	محمد منير	
١	محمد زكي	
١	علي صدقي	توفي
١	عثمان صدقي	
١	حافظ صبحي	
١	محمود فوزي	— توفي
١	محمد ثروت	
١	حسن واصف	
١	عبد المجيد حلمي	
١	احمد عزت	
١	مصطفى حلمي	
١	صالح لطيف	

فهرست کتاب تحرک السوائل

فی المنافذ والانابیب

صحيفه

صحيفه

في الطارات المائية

فى تحرك الغازات

صحيفه

فى الطلمبات

صحيفه

تنبيهات لازمة للقارى

الحروف المستعملة فى الاشكال حروف كبيرة واما الحروف المجعولة رموزا للكميات الداخلة فى الحسابات فاغلبها صغير وكل منها فى الغالب يدل ايضا على كمية واحدة فالحرف (م) مثلا يرمز به للجسم و (ث) للثقل و (ع) للسرعة و (ض) للضغط و (س) للبعد المتغير و (ح) لعجلة سقوط الاجسام وقدرها ٧٩ و ٩ فى عرض القاهرة وغير ذلك ولتمييز المقادير المختلفة للكمية المرموز اليها بالحرف الواحد توضع على الحرف المذكور فتحات مائلة هكذا ـَ ـً ـٌ الخ يلفظ بها على التوالى اولى وثانيه وثالثه الخ ويوضع للتمييز ايضا جزمة صغيرة هكذا (ْ) اسفل الحرف وللفاضل (فا) وللتكامل (كا) وللقطر (قط) فى انابيب توصيل السوائل وللسرعة فى قاع الخلجان (سع) وفى بعض الاحيان (قع) وقد وضعنا للقارى ايضا فى اوّل الكتاب جدولا فيه بيان الخطا والصواب هكذا

صحيفه	سطر	خطا	صواب
١٣	١٥	فى الخانه العاشره من الجدول ٣٢ و ١	٣٢ و ٥
١٤	٧	بموجب (بند ٣)	بموجب (بند ٢)
١٤	٨	$\frac{ع^{٢}}{ح٢} - \frac{عَ^{٢}}{ح٢}$	$\frac{عَ^{٢}}{ح٢} - \frac{ع^{٢}}{ح٢}$
٣١	١٨	الاجسام	الجوامد
٤٢	١٣		يكتب امام معادلة هذا السطر (٦)
٤٩	١٣	الخيط ق	الخيط م
٥٠	٧	وهو	وهى

صحيفة	سطر	خطأ	صواب
٥٢	١٦	نق = ع/ـ	نق = ـ/ع
٦٢	١٢	اوعدد	وعدد
٦٤	٦	ـ فاع + فاـ = ٠	ـ فاع + ع فاـ = ٠
٧٢	٦	فى خانة ٢ من الجدول ٤١٥ر٩	٤١٥ر٠
٧٣	٤	فى خانة ٨ من الجدول من الحالتين	من الحالتين
٧٣	٥	فى خانة ١١ من الجدول ٤١٩ر٩	٤١٩ر٠
٨٠	٤	سـ + كَ ـ كً = ١٥١ر٠ + ٠٦٤ر٠ =	سـ + كَ ـ كً = ١٥١ر٠ + ٠٦٤ر٠ ـ ١٦٧ر٠ =
١٠١	٩	للكميتين شع و شه	للكميتين شن و شه
١١٤	١٢	٠٤٠ر٠ / ١٠٨ =	٠٤٠ر٠ / ١ر٨٠ =
١١٧	١٠ر١ ١١ر١ ١٢ر١ فى الخانة الاولى من الجدول	١٠ر٠ و ٢٠ر٠ و ٣٠ر٠	١٠ر١ و ٢٠ر١ و ٣٠ر١
١٣١	١٦	و ث = ٨٧٨ر٠	و ث = ٨٧٨
١٦٤	٢١	فى الصف السادس من الجدول ٨٩٨٤ر٠	٠٩٨٤ر٠
١٦٧	١٦	صف رابع من الجدول ٤١٢٨ر٠	٤٢٢٨ر٠
١٧٥	٥	صف واحد من الجدول ١٠١ر١	١٠ر١
١٨٤	١٣	صف واحد من الجدول ٠٠ر٢	٠٠ر٣
١٨٦	١١	البخار	البحار
١٨٨	١	$\frac{ع_1^2}{2ج}\left[1-\left(\frac{صـ_1}{صـ_ن}\right)^2\right]$ ك +	$\frac{ع_1^2}{2ج}\left[1-\left(\frac{صـ_1}{صـ_ن}\right)^2\right]$ = ك +
١٩١	٧	و ٧٤٤	و ٧٤٤ر٠
١٩٦	١٧	$\frac{ع_1^2}{2ج}\left[-\left(\frac{ضـ_1}{ضـ_ن}\right)^2\right]$	$\frac{ع_1^2}{2ج}\left[1-\left(\frac{ضـ_1}{ضـ_ن}\right)^2\right]$

صحیفه	سطر	خطا	صواب
۱۹۸	۱۱	۷۲۵۰۰=	۳۷۵۰۰=
۱۹۹	۱۲	۱۰و۰۰۰۴۴۵۷=	۱۰و۰۰۰۱۴۴۵۷=
۱۹۹	۱۴	۱و۰۰۰۸۰=	۱و۰۰۰۲۸۹=
۲۰۱	۱۴	و	او

علم تحرك السوائل

تأليف المهندس

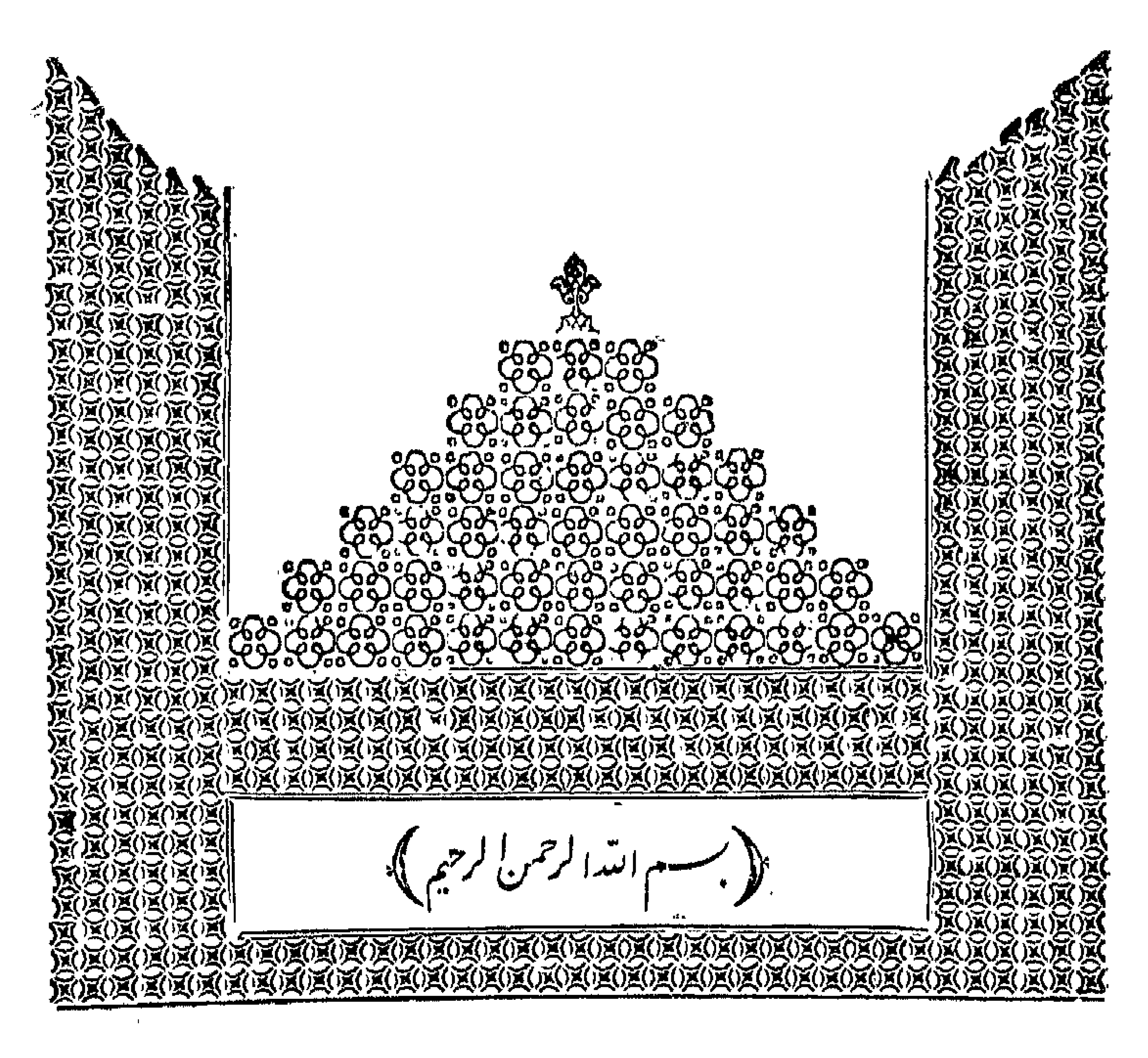
بيلانجيه

مدرس علم الميكانيك والايدروليك اى علم تحرك السوائل بمدرسة العلوم
والعمليات بباريس

ترجمة الفقير

احمد فايد

مدرس علم الميكانيك وعلم تحرك السوائل بمدرسة المهندسخانة الخديويه
الكائنة ببولاق مصر المحميه



نحمدك يا من وعدت من اطاعك جنات تجرى من تحتها الانهار ونشكرك يا من انجيت نوحا ومن معه فى الفلك السيار ونصلى ونسلم على اشرف انبيائك ما تحركت المياه فى الوديان وجرت فى الجداول والخلجان وعلى آله واصحابه الذين بادروا بسرعة اجابته وقطعوا المسافات العظمى فى محبته . وبعد فيقول من لنعم ربه شاكر وحامد العبد لمولاه احمد فايد حيث كانت المعارف البشرية آخذة فى التقدم على ممر الازمان وكان يوجد بها استكشافات جديدة فى كل آن حصل ارتقاء العلم الميكانيكى الى اعلى الدرجات وبلغ المشتغلون به من المقاصد اقصى الغايات وكان ممن ربح فى هذه العلوم اللطيفه والفوائد العظمى المنيفه المهندس بيلانجيه فألف فى ذلك تأليفا دل على غزارة عقله وشهد بعلو همته وفضله وحيث كان فريد عصره ووحيد دهره جناب الامير بيك الجليل الشان ناظر مدرستنا الآن يستنشق اخبار تلك اللطائف الجديده فى كل برهة وكان الاطلاع على مثل هذه التحائف

المفيده

المفيده عنده من اعلى النزهة فحين عثر على تلك المؤلفات الغريبه ورأى ما فيها من
الفوائد الجمة العجيبه بادر بجلبها الى هذه الديار المصريه واراد تدريسها
بالمهندسخانه الخديويه وحيث كنت انا معلم تلك العلوم فيها ولى الوقوف
على مبانيها ومعانيها تبعت هذا المؤلف فى تدريسى وتقريرى وجعلته
امامى وسميرى ولما اطلعت على فرائده وتضلعت من فوائده لاح لى ان اترجم
هذا الكتاب لتقر به عيون ذوى الالباب فقضيت اغراضى وامالى وترجمت
مجلداته الاربع على التوالى وكنت لدى الترجمة بالاثر مثلته طبعا على الحجر
مقابلا عربيته الشاب الناجح السيد افندى صالح ولما انتفع به كثير من
التلامذه بل ومن الاساتذة الجهابذه اردت ان يكون بالمطبعة الكبرى
طبعه ليعظم وقعه ويعم نفعه لكن حيث كان الجلد الاول يشتمل على
التحليلات الهندسيه والثانى على الميكانيكا الاصليه والثالث على
حساب الآلات الميكانيكيه وكان الرابع يشتمل على قوانين حركات السوائل
وكان لعلماء الهندسة من اعظم الوسائل لاشتماله على القوانين اللازمة لاجراء
الترع والانهار وعلى طرق رفع الماء الى العلو أونزعه من الآبار وعلى تقسيم
المياه فى المدن حسب القوانين المرضيه بواسطة انابيب بقواعد حسنة
هندسيه ولاشتماله ايضا على ماتدعوا اليه الحاجات من تحريك الغازات
وكيفية توزيعها فى الانابيب للاستصباح بها وهذا من اعظم الزينة والبها وعلى
تحريك الآلات بالمياه وهل بعد ذلك يكون فى الفضل اشتباه كانت سائر هذه
الاسباب باعثة على تقديم هذا الاخير بالمطبعة الكبرى حيث كان جديرا بذلك
واحرى ثم اذا نظرت له من جهة تعيين السرع المتنوعه المتعلقة بسعة وانحدار
الترع والانهار وتعيين كمية الماء الداخلة فى افواهها والمنصرفة من مصابها ومن
عيون القناطر وجدت له فضلا آخرا لايخطر بخاطر اذ كان جل التدابير
اللازمة لاحياء هذا القطر واهمها ودواعى ماتدعوا اليه الهمم الخيريه واتمها
ليس الامر تبطا بهذه الامور ارتباط العظم بالعصب ولاغرابة فى ذلك ولاعجب
ولذلك لما عرض على سعادة البيك مدير المدارس المصريه ومفتش المهمات

الحربيه ونظر اليه وشرفه وعرفه حق المعرفه واذق العرض به اليه محل القبول ونلت من سيادته ما كان المأمول وحيث استحسن فى التدريس اتباعه اصدر امره بطبعه فى دار الطباعه وسيلحق به انشاء الله فى الطبع اوائله لتكمل بذلك فضائله حيث كان مبناه عليها ويرجع فى امورها اليها هذا وان هذا المجلد مع صغر حجمه بالنسبة لغيره من الكتب المؤلفة فى هذا المعنى فانه ارفعها قدرا واسنى لانه لم يتعرض الا للمواد الثابتة بالبراهين القاطعه او العمليات الصادرة من فحول الرجال ذوى العقول الساطعه فهو ادقها واعلاها واتمها من القلوب وقعا واحلاها ولله در القائل

واذا بدا لا تستقلوا حجمه وحياتكم فيه الكثير الطيب

وممن سلكه فى اسلوب اللغة العربية ونظمه الشيخ ابراهيم الدسوقى مصحح المدرسه فجاء لطيفا طريفا بعناية الملك المعيد المبدى واذا كان كل ذلك بهمة محيي العلوم فى هذا العصر ومعيد تمدن مصر حضرة افندينا الحاج محمد على باشا الذى اصلح الاحوال معادا ومعاشا وجب علينا رفع اكف الدعا والابتهال بمد مدة عمره حتى يفوز ما ابتدء فيه من تحسين الاحوال بالتمام والكمال

الفصل الاول

الفصل الاول

كلام كلي في التحرك الدوامي لمائع متجانس المادة في الحالة التي يمكن فيها اهمال الاحتكاكات

١) وصول التيار الى حالة التحرك الدوامي عبارة عن كون سرعته في كل نقطة هندسية من المسافة المار بها ملازمة لحالة واحدة في اوقات متعاقبة اعني ان تكون ثابتة مقدارا واتجاها في النقط المذكورة وان كان يمكن ان يكون لكل من خيوط هذا التيار تحرك متغير

٢) ليكن اب اَبَ في (شكل ١) جزأ من مائع في تحرك دوامي ثم نفرض اولا أن لعناصر المائع المار بالمستوى ا ب عموديا عليه سرعة واحدة ع

وثانيا أن لعناصر المائع سرعة واحدة ع عمودية على المستوى اَبَ

وثالثا ان مستويي اب و اَبَ ليسا مستويين حيثما اتفق بل مختصين بان التحرك فيهما شُقّي وليس كذلك التحرك في اجزاء اخر من التيار محصورة بينهما لكن ينبغي اهمال الاحتكاك الناشئ من عدم تساوي سرع الخيوط السائلة

ورابعا ان تهمل ايضا الاحتكاكات الحادثة من المائع بالاجسام الصلبة او المائعة المحيطة بالتيار

اذا تقرر هذا فليكن ب سعة قطع اب و ب ض الضغط الكلي الحادث للمائع الكائن امام المستوى اب من المائع الكائن خلف هذا المستوى فاذن تكون ض الضغط المتوسط على الميتر المربع في المستوى اب

وليفرض ان بَ و بَ ضَ الكميتان المشابهتان للمتقدمتين بالنسبة

للمستوى أَبَ وان ے زمن صغير جدّا تنتقل فيه عناصر المائع من المستوى اب الى مستوآخر ح د قريب منه جدّا وعناصر المائع التى فى أَبَ تنتقل الى مستوآخر حَ دَ وان ش ثقل المائع الكائن بين اب و ح د اوبين أَبَ و حَ دَ وان فا ش البعد الكائن بين اب و ح د و فا شَ البعد الكائن بين مستويى اب و ح د و فا شَ البعد الكائن بين مستويى أَبَ و حَ دَ وان ط ثقل المتر المكعب من المائع و ى بعدا وانحطاط مركز ثقل حَ للمستوى أَبَ عن ح الذى هو مركز ثقل المستوى اب ولنطبق قضية تأثير الشغل على الجملة المركبة من سائر النقط المادية التى كانت محصورة فى مبدأ زمن ے بين مستويى اب و أَبَ وفى آخره بين مستويى ح د و حَ دَ فيشاهد بالسهولة ان ازدياد حدة الجملة كلها فى الزمن المذكور

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{ش}{ح} ع'^{2} - \frac{1}{2} \frac{ش}{ح} ع^{2}$$

لان حدة الاجزاء المحصورة بين مستويى ح د و أَبَ بسبب دوام التحرك واحدة فى مبدأ زمن ے وفى آخره

وفى زمن ے المذكور يكون شغل الضغط الكلى ض ب على المستوى المتحرك من اب الى ح د

$$ض ب فا ش$$

ويكون شغل الضغط المقاوم ضَ بَ على المستوى المتحرك من أَبَ الى حَ دَ

$$- ضَ بَ فا شَ$$

وبالجملة فيسهل بيان شغل التثاقل بان يفرض ان ه ثقل نقطة مادية من نقط الجملة و س و سَ بعدا النقطة المذكورة فى كل من الوقتين الابتدائى والانتهائى عن مستوافقى فيكون شغل التثاقل على النقطة المذكورة مدة الزمن ے

$\text{ن}\,(\text{س} - \text{س}_{٠})$ او $\text{ن}\,\text{س} - \text{ن}\,\text{س}_{٠}$ فاذن يكون الشغل الكلى الحادث من التثاقل على الجملة مدة زمن ى المذكور

$$\text{ى}\,\text{ن}\,\text{س} - \text{ى}\,\text{ن}\,\text{س}_{٠}$$

اعنى انه يساوى فرق مجموعى قيم نقط الجملة الماخوذين فى الوقتين المتطرفين لزمن ى وحيث كان لهذين المجموعين جزء مشترك وهو المنسوب للعناصر المحصورة بين مستويى ح د و اَ بَ يؤول الفرق حينئذ الى ش ى وهذا هو الشغل المطلوب وهو عين ما اذا كانت عناصر شقة ا ب ح د منقولة الى شقة اَ بَ حَ دَ بدون ان تنتقل العناصر الاخر اذا تقرر هذا فانه ينتج من قضية تأثير الشغل مع اهمال شغل تأثير العناصر فى بعضها وشغل احتكاك الاجسام المحيطة

$$\frac{1}{2}\,\frac{\text{ش}}{\text{ج}}\,(\text{ع}^{2} - \text{ع}_{٠}^{2}) = \text{ض}_{٠}\,\text{ب}_{٠}\,\text{فاش}_{٠} - \text{ض}\,\text{ب}\,\text{فاش} + \text{ش}\,\text{ى}$$

وبالتنبيه على ان $\text{ب}_{٠}\,\text{فاش}_{٠} = \text{ب}\,\text{فاش} = \frac{\text{ش}}{\text{ط}}$ ينتج

$$\frac{\text{ع}^{2}}{٢\text{ج}} - \frac{\text{ع}_{٠}^{2}}{٢\text{ج}} = \frac{\text{ض}_{٠}}{\text{ط}} - \frac{\text{ض}}{\text{ط}} + \text{ى}$$

وفى هذا القانون تدل كميتا $\frac{\text{ض}_{٠}}{\text{ط}}$ و $\frac{\text{ض}}{\text{ط}}$ على ارتفاع عمودين من المائع المذكور كان يحدث منهما لو توازنا بواسطة ثقلهما على المتر المربع من قاعدتيهما ضغطا $\text{ض}_{٠}$ و ض

٣ ويمكن وضع المعادلة المتقدمة بهذه الصورة

$$\text{ض} - \text{ض}_{٠} = \text{ط}\left[\text{ى} - \left(\frac{\text{ع}^{2}}{٢\text{ج}} - \frac{\text{ع}_{٠}^{2}}{٢\text{ج}}\right)\right]$$

اعنى انه بتسليم الفروض المتقدمة فى (بند ٢) تكون زيادة الضغط المتوسط على المتر المربع فى المستوى اَ بَ عن الضغط على المستوى ا ب مساوية للضغط الذى يكون فى حالة توازن المائع منسوبا الى ارتفاع ى الذى

هو انحطاط مركز ثقل قطع أَبَ عن مركز ثقل المستوى اب مطروحا منه
فرق الارتفاعين المنسوبين لسرع العناصر المارة بقطعى أَبَ و اب
المذكورين

وهذه الدعوى المنسوبة الى الشهير دانيل برنولى مبنية على اهمال الاحتكاكات
وذلك غير جائز فى حالة تيار ذى امتداد مّا مشكوف او فى انبوبة

٤ ويمكن حذف احدى السرعتين اللتين هما ع و عَ من المعادلة
المتقدمة بادخال نسبة سعتى س و سَ فيها لانه يحدث بسبب عدم قبول
المائع للضغط

$$\text{س ع} = \text{سَ عَ}$$

ومن ذلك ينتج

$$\text{عَ} = \frac{\text{س}}{\text{سَ}}\ \text{ع}$$

وبابدال عَ بمقدارها هذا فى معادلة (بند ٢) يحدث

$$\text{ع} = \sqrt{\text{٢ ج} \left(\text{ى} + \frac{\text{ض}}{\text{ط}} - \frac{\text{ضَ}}{\text{ط}}\right) \frac{1}{1 - \frac{\text{س}^2}{\text{سَ}^2}}}$$

٥ ولاجل حساب سرعة ع بواسطة هذا القانون يلزم تعيين الضغطين
المتوسطين على كل من مستويى اب و أَبَ ولنذكر لذلك بعض قواعد
فنقول

القاعدة الاولى

اذا تركب تيار من خيوط مائعة ذات تحرك مستقيم منتظم فان الانضغاطات
الحاصلة على عناصر هذه الخيوط من بعضها الناشئة عن التثاقل تجرى على
قوانين ما اذا كان المائع فى حالة سكون وذلك بقطع النظر عن الاحتكاكات لانه
حيث كان تحرك كل خيط من الخيوط المذكورة مستقيما منتظما فالقوى الواقعة

عليها

عليها متوازنة فاذن تكون الانضغاطات الحادثة على الخيط المذكور او الحادثة منه كالحادثة عليه او منه لو كان المائع ساكنا

فحينئذ يقال اولا اذا كانت النقطتان مَ و مً متباعدتين عن بعضهما قليلا كى يكون الاحتكاك مهملا بينهما وكان س فرق ارتفاعهما عن مستو افقى و ضَ رمزا للضغط الخاص بالميتر المربع فى النقطة مَ و ضً رمزا للضغط الخاص بالميتر المربع فى النقطة مً يحدث

ضً = ضَ + ط س

وثانيا ان الضغط الكلى على قطع مستو حادث فى التيار سعته ـ ومركز ثقله منحط بارتفاع ى عن نقطة مَ يكون

ـ (ضَ + ط ى)

القاعدة الثانية

القوانين المذكورة تجرى ايضا فى مائع ذى تحرك ما بطئ جدا الان هذا البطء لا يحصل الا فى حالة قريبة جدا من التوازن

القاعدة الثالثة

اذا كان للخيوط فى احد قطوع التيار سرع متوازية متساوية أو غير متساوية وكانت هذه الخيوط ترسم بعد القطع المذكور المنحنيات المكافية التى كانت تقطعها كل نقطة مادية بواسطة سرعتها وثقلها لو كانت منفردة فى الفراغ كان الضغط فى داخل المائع مساويا للضغط الخارج وذلك ان العناصر المادية من حيث انها تتحرك كان لم يقع عليها الا تأثير التثاقل تتماحى الانضغاطات الجانبية على كل من الخيوط مثنى وتكون كلها مساوية للضغط الخارج

الفصل الثانى

فى تصرف المائع من المنافذ الصغيرة فى الظروف الرقيقة

٦ ولنطبق قانون (بند ٤) على بعض حالات بسيطة فنقول
لنفرض آنية ممتلئة على الدوام بسبب الوارد اليها بمائع متجانس المادة الى توازن
معين مماس للجو وبها منفذ رقيق بمعنى ان سمك الطرف اقل من نصف اصغر
ابعاده وسعة المنفذ المذكور صغيرة بحيث تكون سرعة المائع فى الطرف
التى على بعد صغير من المنفذ مهملة بالنسبة لسرعة خروج المائع
وقد دلت التجربة فى هذه الاحوال على ان دوام التحرك يحدث سريعا بعد فتح
المنفذ وان سمك عرق التصرف يتناقص مبتدئا من المنفذ الى بعد صغير ثم ينتظم
فى مسافة صغيرة وهذا ما يسمى بانضمام العرق السائل
ويمكن ان يسلم فى هذه الحالة ان الخيوط السائلة تتحرك فى موضع الانضمام
موازية لبعضها ويرسم كل منها تقريبا نفس المنحنى المكافى الذى كان يرسمه لو كان
منفردا
وينتج من هذه الحوادث التجريبية ومن الفروض المسلمة
اولا انا اذا تصورنا فى داخل المائع احد الخيوط المتكون منها التيار كما فى
(شكل ٣) فان سرعة ع للقطع اب من الخيط المذكور تكون مهملة
فى معادلة (بند ٣)
وثانيا ان يقال حيث ان ضـ الضغط الحاصل فى اَبَ فى المستوى
ن ن الذى هو توازن المائع فى الطرف يكون ضغط ضـ فى المستوى اب
مساويا ضـ + ط ى. فاذا جعلنا ى + ىٓ = سـ فان قانون
(بند ٣) يؤول الى

$$\frac{ع^2}{٢ح} = سـ \quad او \quad ع = \sqrt{٢ ح سـ}$$

٧ ولنذكر الآن حالتين فنقول
الحالة الاولى ان يكون ارتفاع س لنقط القطع المنضم عن المستوى
ن ن ثابتا تقريبا لكون القطع المذكور افقيا او رأسيا لكن ارتفاعه
صغير
وفى هذه الحالة يمكن تسليم ان لجميع خيوط العرق فى محل الانضمام سرعة

واحدة

واحدة معينة بالقانون

$$ع = \sqrt{٢ ح ف}$$

بجعل ف المسمى بالضاغط رمزا لارتفاع التوازن الاعلى للمائع عن مركز ثقل القطع المنضم

وقد ثبت بالتجربة ان تطبيق القانون المذكور على المنافذ الصغيرة المصنوعة فى الظروف الرقيقة موافق تقريبا وذلك انه اذا قيس المتصرّف هـ فى الثانية الواحدة والسعة ب للقطع المنضم نتج أن السرعة المتوسطة هـ/ب اقل من السرعة النظرية $\sqrt{٢ ح ف}$ بمقدار ٢ أو ٣ من مائة وذلك يدل على أن الفروض المتنوّعة التى انبنت عليها النظرية المذكورة ليست تامة الضبط

٨ وكان يلزم لاجل حساب المتصرّف فى الثانية الواحدة من منفذ صغير رقيق تعيين السعة ب للقطع المنضم متى علمت ابعاد المنفذ والضاغط غير أن النظريات ليست كافية فى ذلك الى الآن وقد دلت التجربة على انه اذا ورد المائع نحو المنفذ من جميع الجهات على صورة خيوط متماثلة الوضع بالنسبة لمحوره الشكلى ورمز بحرف ب الى سعة المنفذ وبحرف م الى مكرر كسرى ثابت تقريبا ومختلف قليلا عن ٠,٦٢ فانه يحدث بالتصرّف فى الثانية الواحدة بالقانون

$$هـ = م ب \sqrt{٢ ح ف}$$

وقد اطلق اغلب المؤلفين على الحاصل ب $\sqrt{٢ ح ف}$ اسم التصرّف النظرى للمنفذ زاعمين أن السرعة فى نفس مستوى المنفذ هى $\sqrt{٢ ح ف}$ اذا لم يحصل للمائع احتكاك ولاجل معرفة ان السرعة فى مستوى المنفذ اقل من $\sqrt{٢ ح ف}$ يكفى التنبه الى ان الضغط المتوسط على المتر المربع فى هذا المستوى اكبر من ضغط الجوّ لانه لما كان لخيوط عرق التصرّف تحرّك منحن منسوب للسرعة المكتسبة فى داخل الظرف كان يحدث من الخارج الى الداخل ضغطا اضافيا أو قوة مبعدة

٩ الحالة الثانية ان يكون ارتفاع قطع العرق المنضم غير صغير بالكفاية بالنسبة الى الضاغط ف حتى يكون للخيوط المارة بالقطع المذكور سرعة واحدة ‑

وليفرض مع ذلك ان للخيوط المذكورة سرع متوازية متغايرة قليلا بحيث يمكن اعتبار كل من هذه الخيوط راسما بالابتداء من القطع المنضم منحنيا مكافيا كان يرسمه لو كان منفردا

وايضا ان قطع العرق المنضم كافى (شكل ٣) يكون رأسيا ومستطيلا وان عرضه الافقى ل ثم يقسم ارتفاعه الى اجزاء صغيرة يرمز لاحدها م مَ بالرمز فا س فيجعل س رمزا لبعده تحت مستوى التوازن الاعلى لمائع الحوض فيكون المتصرّف الحاصل من جزء من القطع المنضم المسقط على م مَ مساويا لسعته ل فا س مضروبة فى السرعة المنسوبة للارتفاع س اعنى أن يكون تصرّف الجزء المذكور $\text{ل}\sqrt{\text{٢ ج س}}\ \text{فا س}$ فاذن يكون التصرّف الكلى

$$\text{ه} = \int_{\text{سب}}^{\text{سا}} \sqrt{\text{٢ ج}}\ \text{س}^{\frac{١}{٢}}\ \text{فا س} = \frac{٢}{٣}\ \text{ل}\sqrt{\text{٢ ج}}\left(\text{سا}^{\frac{٣}{٢}} - \text{سب}^{\frac{٣}{٢}}\right)$$

فلو فرض أن للخيوط المذكورة سرعا واحدة مشتركة بين اجزاء القطع الذى سعته ع = ل (سا ـ سب) لكان مقدار التصرّف

$$\text{هَ} = \text{ع}\sqrt{\text{٢ ج}\ \frac{(\text{سا} + \text{سب})}{٢}} =$$

$$\text{ل}\ (\text{سا} - \text{سب})\sqrt{\text{٢ ج}\ \frac{(\text{سا} + \text{سب})}{٢}}$$

فنسبة $\frac{\text{ه}}{\text{هَ}}$ لهذين الحاصلين اقل من الواحد دائما غير أنها تغايره قليلا ولنبين ذلك فى جدول فنقول

اذا كانت مقادير $\frac{س}{س_١}$	٠ر٠	٠ر١	٠ر٢	٠ر٣	٠ر٤	٠ر٥	٠ر٦
تكون مقادير $\frac{ه}{هَ}$	٠ر٩٤٣	٠ر٩٦٧	٠ر٩٧٩	٠ر٩٨٧	٠ر٩٩٣	٠ر٩٩٥	٠ر٩٩٧

اذا كانت مقادير $\frac{س}{س_١}$	٠ر٧	٠ر٨	٠ر٩	١ر٠٠
تكون مقادير $\frac{ه}{هَ}$	٠ر٩٩٨	٠ر٩٩٩	١ر٠٠	١ر٠٠

فمن هذا الجدول يشاهد انه اذا لم يتجاوز س ثلث س۱ يمكن تحصيل المتصرّف باستعمال مقدار هَ الذى هو أبسط من المقدار الحادث من ه لان الخطأ الحاصل فى ذلك اقل من واحد من مائة فاذا كان س اقل من ثلث س۱ فان مقدار ه لا يكون اضبط من مقدار هَ لان الفروض التى انبنت عليها هذه النظرية ليست مسلمة فى هذه الحالة

١٠ ولنعتبر الآن فروض (بند ٦) مع اعتبار أن الضغط الحاصل على مستوى التوازن الذى هو ن ن غير الضغط الحاصل على عرق المتصرّف فيشاهد انه اذا اجرى ما تقدم فى البند المذكور بمقتضى قواعد (بند ٥) فان قانون السرعة يكون فى هذه الحالة

$$ع = \sqrt{٢ ح \left(س + \frac{ضَ}{ط} - \frac{ض}{ط}\right)}$$

بجعل رمز ضَ يدل على الضغط الحاصل على المتر المربع من المستوى ن ن

امثلة

المثال الاوّل اذا وقع على المستوى ن ن زيادة على ضغط الجو ضغط مقداره ق كيلوغرام بواسطة مكبس يكون هو الفرق بين الثقل الحقيقى للمكبس المذكور والثقل اللازم لموازنة احتكاكه فيحدث بالرمز الى سعة المكبس بحرف ح

$$ضَ = ض + \frac{ق}{ح}$$

وبناء على ذلك يكون $ع = \sqrt{٢ ح (س + \frac{ق}{ط ح})}$

المثال الثانى اذا كان الضغط الاضافى على المستوى ن ن مبينا كما فى (شكل ٤) بالارتفاع دَ لعمود من مائع ما صاعد فى ميزان الضغط فانه بالرمز الى ثقل المتر المكعب فى هذا المائع الصاعد بالحرف طَ يحدث

$$ضٓ = ض + طَ دَ$$

وبناء على ذلك يكون $ع = \sqrt{٢ ح (س + \frac{طَ دَ}{ط})}$

١١ ولاجل التمرين ينبغى تطبيق ما تقدم على الآلة المسماة بانيسة ماريوت

١٢ المائع الخارج من المنفذ الرقيق لظرف فى سائر الاحوال المتقدمة المقررة فى شأن تصرف الموائع كان محذوفا فى الهواء فاذا كان منصبا فى حوض متسع مملوء من المائع المذكور كما فى (شكل ٥) فبجعل د رمزا لارتفاع سطح هذا الحوض فوق مركز ثقل المنفذ ينبغى أن يبدل فى القوانين المتقدمة ض بمجموع ض + ط د بجعل ض١ رمزا الضغط الجوّ على كل متر من سطح الحوض الاسفل وحينئذ اذا كانت بقية الاحوال كالاحوال المقررة فى (بند ٦) فانه بجعل س١ رمزا لارتفاع السقوط الذى هو ف ــ د يحدث

$$ع = \sqrt{٢ ح س_١}$$

ومنها ينتج $ه = م ب \sqrt{٢ ح س_١}$

الفصل الثالث

فى تصرف المنافذ المنفرجة المدخل

١٣ اذا استعمل عوضا عن المنفذ المصنوع فى حائز رقيق موصل اب اَبَ كما فى (شكل ٦) كان له عين صورة العرق المتصرف من الآنية الى قطعه المنضم فيتحصل بالاقل فى حالة ما اذا كان المنفذ صغيرا تصرف $ه = ب \sqrt{٢ ح ف}$ بجعل ب رمزا الى سعة المنفذ اَبَ و ف

رمزا

رمزا الى الضاغط الواقع على مركز ثقل المنفذ فاذا كان المنفذ مستديرا ومصنوعا في ظرف رقيق فان نسبة ابعاد اب و أَبَ و وو َ من العرق الى بعضها كنسبة اعداد ١٠٠ و ٧٩ و ٣٩ على رأى المهندس مشلوتى وكاعداد ١٠ و ٨ و ٥ على رأى المهندس ايتلوين فقد وجد المهندس مشلوتى المذكور باستعمال الموصل المتقدم أن التصرف يكون

ه = ٠,٩٨٤ س ٧ ٢ حس فلزوم مكرر ٠,٩٨٤ ناشئ من تأثير لاحتكاك المهمل في القانون النظرى ومن تأثير الخيوط في بعضها لكونها لم ترسم على وجه مضبوط بالابتداء من القطع أَبَ المنحنيات المكافية التى كانت ترسمها لو كانت منفردة في الفراغ وبذلك كانت تؤثر في بعضها بعضا ضغطا يفوق عن ضغط الجو

١٤ وليفرض كما في (شكل ٧) أن منفذا رأسيا منفرج المدخل ومستطيلا متبوع بمجرى تصرف مكشوف من اعلاه ومكيف الوضع بحيث يكون للمائع المتصرف بالابتداء من القطع اب تحرك مستقيم منتظم (وسيشاهد فيما بعد انه يكفى لذلك ان يكون للمجرى ميل سهل التعيين) وأن السرعة مهملة في الحوض الذى يتصرف منه المائع فاذا اعتبر أَبَ م مَ من جملة الخيوط التى يتركب منها التيار فبموجب (بند ٦) بالنظر لقواعد (بند ٥) وجعل ض~ا~ رمزا الضغط الجو الواقع على ا وعلى مستوى ن ن وجعل ىَ رمزا للبعد ا م يكون الضغط على المتر المربع في القطع م م الصغير

$$ض = ض_ا + ط ىَ$$

واما الضغط الحاصل على المتر المربع في القطع أَبَ فانه يكون

$$ضَ = ض_ا + ط ى$$

فاذن تؤول معادلة (بند ٣) باهمال ع الى

$$\frac{ع^٢}{٢ح} = ى + ىَ - ىَ = ى$$

ومن هنا ينتج $ع = \sqrt{٢ ح لا}$

وهذا القانون لا يخالف قانون (بند ٧) الا بكون لا ضاغط رأس المنفذ لا ضاغط المركز

الفصل الرابع
فى تصرف المصب

١٥ حيث لم يمكن الى الآن بيان نظرية مضبوطة فى تصرف مائع من مصب فى جدار رقيق لزمنا أن نشرح المسئلة الآتية المضاهية لهذه المسئلة تقريبا فنقول

ليكن ن ن كما فى (شكل ٨) مستوى التوازن الثابت الوضع بسبب الوارد لمائع حوض يتصرف منه السائل طافيا فوق سد افقى او مصب بفرض أن سمك السد يكون بحيث يصير السطح الاعلى للتيار افقيا تقريبا فى امتداد صغير والمطلوب معرفة مقدار تصرف السائل فى كل متر من طول المصب عند اهمال الاحتكاكات وبجعل ارتفاع $س_١$ لاستواء ن ن فوق سطح المصب معلوما

ولذا نفرض ان لا هو الارتفاع المجهول لمستوى التوازن ن ن لماء الحوض فوق السطح الافقى للتيار فى النقطة ا فيحدث بمقتضى ما تقرر فى (بند ١٤) ان السرعة تكون فى القطع اب مساوية $\sqrt{٢ ح لا}$ ومن ذلك ينتج ان تصرف هـ فى كل متر من طول المصب

$$هـ = (س_١ - لا) \sqrt{٢ ح لا}$$

وقد تكون هذه الكمية معدومة اذا فرض ان لا $=$ ٠ او ان لا $=$ $س_١$ ويوجد بين هذين المقدارين مقدار لكمية لا به تصير هـ نهاية كبرى يظهر انها هى المتصرف الحقيقى ويستخرج من مقدار هـ

$$\frac{ف هـ}{ف لا} = \sqrt{٢ ح} \left(\frac{١}{٢} س_١ لا^{-\frac{١}{٢}} - \frac{٣}{٢} لا^{\frac{١}{٢}} \right)$$

فتكون

فتكون هذه المشتقة معدومة متى كان

$$س_{١}\ لا^{-\frac{١}{٢}} - ٣\ لا^{\frac{١}{٢}} = ٠$$

او

$$لا = \frac{١}{٣}\ س_{١}$$

وبابدال لا بمقدارها هذا فى مقدار ه تحدث النهاية الكبرى للتصرف وهى

$$ه = \frac{٢}{٣\sqrt{٣}}\ س_{١}\ \sqrt{٢ ح س_{١}} = ٠٫٣٨٥\ س_{١}\ \sqrt{٢ ح س_{١}}$$

وكان ينبغى استعمال هذا القانون فى الفروض المتقدمة مع تصحيحه بالنسبة للاحتكاكات غير أن التجربة دلت على انه قريب الضبط فى الحالة التى يكون فيها المصب رقيقا وان بطل استعمال النظرى المتقدم فى تلك الحالة

وحينئذ يكون المتصرف الحاصل فى كل متر من طول المصب

$$ه = م\ س_{١}\ \sqrt{٢ ح س_{١}}$$

بجعل م رمزا الى مكرر يظهر أن مقداره متعلق بمقادير $س_{١}$ بموجب تجاريب المهندسين پونسليه وليسبروس كما يستدل على ذلك من جدولهما وهو

اذا كانت مقادير $س_{١}$	٠ر٠١	٠ر٠٢	٠ر٠٣	٠ر٠٤	٠ر٠٦	٠ر٠٨	٠ر١٠	٠ر١٥	٠ر٢٠	١ر٢٢
تكون مقادير م	٠ر٤٢٤	٠ر٤١٧	٠ر٤١٣	٠ر٤٠٧	٠ر٤٠١	٠ر٣٩٧	٠ر٣٩٥	٠ر٣٩٣	٠ر٣٩٠	٠ر٣٨٥

الفصل الخامس

فى تأثير التكيف التدريجى لقطع الاوانى

١٦ لنتصور أن اب و اَبَ و اًبً كما فى (شكل ٩) عدة قطوع لانية يمر المائع بها عموديا تقريبا ومراكز ثقلها ج و جَ و جً فاذا كانت هذه القطوع غير متساوية فانه يحدث عدة احوال مختلفة نذكر الحالة الاولى منها فى هذا الفصل فنقول

يمكن ان يكون تكيف القطع تدريجيا بحيث يتصرف المائع المالى للانبية على *
صورة خيوط سرعتها متساوية تقريبا بدون احتكاك بعضها ببعض احتكاكا
معتبرا فاذا رمز فى هذه الحالة بالرموز ع و عَ و عً الى سرعة المائع
فى القطوع اب و اَبَ و اًبً وبالرموز ضـ و ضَ و ضً
الى الضغط المتوسط على المتر المربع فى كل من القطوع المذكورة وبالرموز
سـ و سَ و سً الى ابعاد مراكز ثقل القطوع المذكورة عن مستو ما افقى
فانه يحدث بموجب (بند ٣)

$$\frac{\text{ع}^{2}}{2\text{ج}} - \frac{\text{عَ}^{2}}{2\text{ج}} = \text{س} - \text{سَ} + \frac{\text{ض}}{\text{ط}} - \frac{\text{ضَ}}{\text{ط}}$$

و

$$\frac{\text{عَ}^{2}}{2\text{ج}} - \frac{\text{عً}^{2}}{2\text{ج}} = \text{سَ} - \text{سً} + \frac{\text{ضَ}}{\text{ط}} - \frac{\text{ضً}}{\text{ط}}$$

أو

$$\frac{\text{ع}^{2}}{2\text{ج}} + \frac{\text{ض}}{\text{ط}} + \text{س} = \frac{\text{عَ}^{2}}{2\text{ج}} + \frac{\text{ضَ}}{\text{ط}} + \text{سَ} = \frac{\text{عً}^{2}}{2\text{ج}} + \frac{\text{ضً}}{\text{ط}} + \text{سً}$$

أعنى أن الارتفاع المنسوب لسرعة فى قطع زائد الارتفاع المنسوب للضغط فى
هذا القطع زائد ابعد مركز ثقل القطع المذكور عن مستو ما افقى واحد يحدث
مجموعا واحدا سواء كان القطع اَبَ المتوسط ينضم او ينفرج

١٧ واذا رمز بالحرف ــ و ــَ و ــً الى سعات القطوع
اب و اَبَ و اًبً فانه يحدث من عدم قبول المائع للضغط ارتباطات
ع ــ = عَ ــَ = عً ــً وحينئذ اذا علمت هذه السعات وارتفاعات
سـ و سَ و سً يحدث بين السرع الثلاث والانضغاطات الثلاثة اربع
معادلات بها يسهل تعيين اربع من هذه الكميات بواسطة الاثنين
الاخرين

١٨ ويمكن الاستدلال بالتجربة على هذه الحواصل النظرية بواسطة
موازين ضغط تركب على نقطة من نقط كل من القطوع المذكورة فاذا ارتفع
المائع المماس للقطع اَبَ الى مستوى التوازن نَ وارتفع المائع المماس
للقطع اًبً الى مستوى التوازن نً فانه بجعل ضـ رمزا الضغط الجوى على

المترالمربع الذى مقداره المتوسط ١٠٣٣٤ كيلوغراما يحدث

$$\frac{\text{ضَ}}{\text{ط}} = \text{جَ نَ} + \frac{\text{ضـ}}{\text{ط}} \quad \text{و} \quad \frac{\text{ضً}}{\text{ط}} = \text{جً نً} + \frac{\text{ضـ}}{\text{ط}}$$

فحيث ان فرق ارتفاعى مستويى التوازن نَ و نً

يساوى $\text{سً} + \text{جً نً} - (\text{سَ} + \text{جَ نَ})$ يكون هذا الفرق

حينئذ مساويا $\text{سً} + \frac{\text{ضً}}{\text{ط}} - \left(\text{سَ} + \frac{\text{ضَ}}{\text{ط}}\right)$ أو مساويا

$\frac{\text{عَ}^{2}}{\text{٢ج}} - \frac{\text{عً}^{2}}{\text{٢ج}}$ بمقتضى المعادلة الاخيرة من (بند ١٦) وبناء على ذلك ينتج

مع فرض اهمال الاحتكاكات ان فرق توازن رأسى عمودى ميزان

الضغط فى قطعين ماربهما المائع على صورة خيوط متوازية يساوى فرق

الارتفاعين المنسوبين لسرعتى المائع فى هذين القطعين ويقابل التوازن الاسفل

من هذين الرأسين اعظم السرعتين

١٩ وقد يكون الضغط الحاصل فى قطع اقل من ضغط الجوّ وحينئذ يقاس

بواسطة عمود مائع مرفوع

فاذا كان المائع المحصور فى الانية ب ب كما فى (شكل ١٠) ماء كالجارى

فى الآنية المبين قطعها بدائره فى الشكل فانه يحدث فى الاحوال الاعتيادية

للجوّ $\text{ضَ} = \text{١٠٣٣٤} - \text{ط دَ}$ واذا كان ط ثقل متر مكعب

من المائع المرفوع فان $\text{ضَ} = \text{١٠٣٣٤} - \text{طَ دَ}$

٢٠ وقد شاهد المهندس ونتورى هذه الحوادث

ولينتبه الى ان قوانين (بند ١٦) قد يعرض لها الخطأ والاستثناء ولنبين ذلك

فنقول

اوّلا قد يكون للاحتكاك تأثير عظيم فى الانابيب الطويلة كما سيشاهد ذلك

وايضا اذا كانت الآنية صغيرة الامتداد وكان بها انقباض فلاجل تأدية

التصرف المعين بالحساب يلزم ان يكون للمائع سرعة عظمة فى القطع المنقبض

المذكور وفى الاجزاء المتصلة به من جهتى الامام والخلف وحينئذ فلا يجوز

اهمال الاحتكاكات كما اهمل فى وضع قوانين (بند ٣) و (بند ١٧)

وثانيا اذا اجريت الحسابات المقررة فى (بند ١٦) وعين ضغطا ضـ و ضً

فربما وجد لضغط ضَ مقدار سالب وذلك من المستحيلات فاذا فرض مثلاً ان القطع ـــ كما فى (شكل ١١) عظيم جدا بالنسبة للقطعين الآخرين امكن جعل ع = ٠ بدون خطأ معتبر واذا فرض ايضا ان كلا من ضغطى ضَ و ضً مساو لضغط الجو وكان المائع ماء حدث

$$\frac{ض}{ط} = \frac{ضً}{ط} = ٣٣ و ١٠ م$$

واذا فرض ان سً = ٠ حدث من معادلات (بند ١٦ و بند ١٧)

$$\frac{عً^٢}{٢ج} = س و \frac{سً^٢}{ج٢} س + \frac{ضَ}{ط} + سَ = س + ٣٣ و ١٠ م$$

أو $\frac{ضَ}{ط} = ٣٣ و ١٠ - (\frac{سً^٢}{سَ^٢} - ١) س - سَ$

وهى كمية يمكن ان تجعل سالبة بجعل سَ = ١ و سً = ٢سَ لانه يحدث من ذلك ان $\frac{ضَ}{ط} = ٣٣ و ٩ - ٣ س < ٠$ اذا كان س > ١١ و ٣

٢١ يحدث من الشرط $\frac{ضَ}{ط} > ٠$ الناشئ من طبيعة الموائع نتيجة شهيرة وهى انه اذا اضيفت هذه الغير متساوية طرفا بطرف الى المعادلة

$$\frac{ع^٢}{٢ج} + \frac{ض}{ط} + س = \frac{عَ^٢}{٢ج} + \frac{ضَ}{ط} + سَ$$

ينتج

$$\frac{عَ^٢}{٢ج} < \frac{ع^٢}{٢ج} + (س - سَ) + \frac{ض}{ط}$$

وهذه النتيجة تدل على ان سرعة المائع الذى يمرّ بالمستوى أَبَ لا تزيد عنها فيما لو كان الضغط معدوما فى المستوى المذكور فرضا وذلك بديهى لا يحتاج لبرهان فاذا ابدلت ع بمقدارها $\frac{سَ}{س}عَ$ آلت الغير متساوية المتقدمة الى

$$\frac{عَ^٢}{٢ج} (١ - \frac{سَ^٢}{س^٢}) < (س - سَ) + \frac{ض}{ط}$$

ومنها ينتج نهاية للسرعة عَ لا تتجاوزها ايا ما كانت ابعاد الآنية وايا ما كانت الانضغاطات الحادثة فى الجزء التالى للقطع أَبَ المقابل لتلك السرعة وبضرب نهاية السرعة عَ المذكورة فى القطع سَ تحدث نهاية نظرية للتصرّف و يعلم بسهولة انه اذا اريد تطبيق هذه النظرية على تصرّف الماء من

الانية

الانية بفرض مقادير الكميات س و سَ و ضـ/ط و ئـ يكيفية القطع التالى للقطع ئـ بحيث تحصل النهاية الكبرى للتصرّف وربما كان الحاصل التجريبي صغيرا بالكلية عن النهاية المذكورة آنفا ويتبين ذلك

اوّلا من تأثير احتكاكات المائع بالآنية وبنفسه وهو يعظم بعظم السرعة

وثانيا من أن الانضمام الاعظم الناتجة عنه النهاية الكبرى للسرعة لا يكون حاصلا فى اصغر قطع للآنية بل فيما يتلو ذلك القطع

وثالثا من ان من المستحيل فرض انعدام الضغط بسبب ميل الهواء الى التصرّف من نفس الماء كلما تناقص الضغط خصوصا اذا كان الماء ساخنا فان بخاره يؤثر تأثيرا اعظم من تأثير الهواء

ويفهم من النظرية المتقدمة اسباب التقمعات الحادثة على السطح الاعلى للمائع عندما يكون الانقباض على بعد صغير عن السطح المذكور

الفصل السادس

فى تأثير الانفراج الدفعى للقطع

٢٢ قد تقدّم الكلام على الحالة الاولى من تأثير تغير القطع فى الفصل المار ونتكلم فى هذا الفصل على الحالة الثانية منه فنقول

يفرض فى هذه الحالة ان المائع المار من القطع أبَ كما فى (شكل ١٢) خيوطا متوازية ينصب دفعة فى الانية الاسطوانية من أً بً قطعها أً بً أكبر من القطع أَبَ وفى هذه الحالة يكون الارتباط الحاصل بين السرعتين عَ و عً وبين الضغطين المتوسطين ضَ و ضً غير المقرّر فى الحالة المتقدمة لان هيجان المائع امام القطع أَبَ يحدث شغلا سالبا لا يمكن اهماله

فاذا لوحظ مائع فى مثل هذه الحالة شوهد على بعد معين من امام المنفذ أَبَ أن المائع يعود الى الهدو ويتصرّف خيوطا متوازية سرعتها واحدة تقريبا

وليفرض أن أَبً من الانيـة على البعد المذكور فتكون عً السرعة المشتركة للمائع فى هذا القطع و ضً الضغط المتوسط على المتر المربع فيه وقد يشاهد من التجربة ايضا ان للمائع فى الاجزاء أم و بَن من القطع من المحيطة بالمنفذ أبَ سرعة صغيرة جدًّا بحيث اذا جعل ضَ رمزا للضغط المتوسط على المتر المربع فى العرق السائل المتصرّف من المنفذ أبَ بالسرعة عَ كان ارتباط انضغاطات المائع المحيط بالقطع الحلقى أم بَن بالضغط ضَ كالارتباط الذى بينهما اذا كان الماء ساكنا فحينئذ اذا رمز بالحرف ضـ للضغط المتوسط فى المستوى من وبالحرف ى لارتفاع مركز الثقل و لهذا المستوى عن مركز الثقل عَ للقطع أبَ حدث

ضَ = ضـ + ط ى

٢٣ اذا تقرّر هذا سهل ايجاد ارتباط السرعتين عَ و عً بالضغطين ضَ و ضً بواسطة قضية كميات التحرك السقوطية على محور

وليفرض أن المحور المذكور عمودى على المستويين من و أً بً فاذا رمز بالحرف م لجسمى الشقتين أَبَحَدَ و أًبًحًدً الصغيرتين جدًّا المتصرفتين فى الزمن ـ احداهما من القطع أبَ والاخرى من القطع أًبً فان ازدياد كمية التحرك للجملة الشاغلة فى مبدأ الزمن المذكور للمسافة الكائنة بين المستويين من و أًبً يكون فى آخر الزمن المذكور م عً ــ م عَ بسبب دوام التحركات المختلفة الحاصلة بين المستويين المذكورين

والقوى الخارجية المؤثرة على الجملة هى اوّلا الضغط العمودى على المستوى من ومقداره ضـً بجعل ـً رمزا الى سعة قطع الاسطوانة من أًبً ودفعه هى ضـً ـ

وثانيا الضغط ضًـً العمودى على المستوى أًبً فى جهة مضادّة للتحرك ودفعه هى ـ ضًـً ـ

وثالثا ثقل الجملة كلها ومقداره هو ط ـً × وجً وبالاطلاع

على

على الشكل يتبين أن دفع هذه القوّة السقوطية على محور الاسطوانة هي
$\text{ط}\,\text{ث}''\,(\text{ى} + \text{س}' - \text{س}'')\,\text{ے}$
ورابعا الانضغاطات الحادثة على المائع من السطح الاسطوانى للآنية فمن حيث أن احتكاك الآنية مهمل تكون هذه الانضغاطات عمودية ودفعها السقوطية على المحور معدومة فاذن يحدث

$$\text{م}\,\text{ع}'' - \text{م}\,\text{ع}' = \text{ض}'\,\text{ث}'\,\text{ے} - \text{ض}''\,\text{ث}''\,\text{ے} + \text{ط}\,\text{ث}''\,(\text{ى} + \text{س}' - \text{س}'')\,\text{ے}$$

وحيث أن $\text{ث}''\,\text{ع}''\,\text{ے}$ حجم المائع المتصرف فى الزمن ے تبدل فى المعادلة المتقدمة م بمقدارها $\frac{\text{ط}\,\text{ث}''\,\text{ع}''\,\text{ے}}{\text{ج}}$ و $\text{ض} + \text{ط}\,\text{ى}$ بمقدارها $\text{ض}'$ فتؤول الى

$$\frac{\text{ع}''(\text{ع}'' - \text{ع}')}{\text{ج}} = \frac{\text{ض}'}{\text{ط}} - \frac{\text{ض}''}{\text{ط}} + (\text{س}' - \text{س}'') \quad \cdots\cdots \quad (1)$$

وهو الارتباط المطلوب ولاجل مقابلة هذا الارتباط بالارتباط الذى كان يحدث لو كان التحرك حاصلا على صورة خيوط متوازية بين المستويين $\text{أ}\text{ب}'$ و $\text{أ}\text{ب}''$ كما تقدم فى الحالة الاولى من (بند ١٦) نضعها بهذه الصورة

$$\frac{\text{ع}''^2}{2\text{ج}} - \frac{\text{ع}'^2}{2\text{ج}} = \frac{\text{ض}'}{\text{ط}} - \frac{\text{ض}''}{\text{ط}} + (\text{س}' - \text{س}'') - \frac{\text{ع}''(\text{ع}'' - \text{ع}')}{\text{ج}} + \frac{\text{ع}''^2}{2\text{ج}} - \frac{\text{ع}'^2}{2\text{ج}}$$

وبالاختصار هكذا

$$\frac{\text{ع}''^2}{2\text{ج}} - \frac{\text{ع}'^2}{2\text{ج}} = \frac{\text{ض}'}{\text{ط}} - \frac{\text{ض}''}{\text{ط}} + (\text{س}' - \text{س}'') - \frac{(\text{ع}' - \text{ع}'')^2}{2\text{ج}} \quad \cdots \quad (2)$$

اعنى أن التغير الدفعى للقطع من $\text{أ}\text{ب}'$ الى $\text{أ}\text{ب}''$ يحدث للفرق

$\frac{\text{ع}''^2}{2\text{ج}} - \frac{\text{ع}'^2}{2\text{ج}}$ عين التأثير الحادث لو كان القطعان المذكوران متصلين اتصالا تدريجيا وكان مركز الثقل $\text{ج}''$ للقطع الثانى مرفوعا عن اصله بمقدار الكمية $\frac{(\text{ع}' - \text{ع}'')^2}{2\text{ج}}$ التى هى الارتفاع المنسوب لفرق سرعتى القطعين المذكورين

وهذا مايعبر عنه بوجه مختصر فيقال أن التغير الدفعى الحاصل من السرعة $\text{ع}'$ الى السرعة $\text{ع}''$ الاصغر منها احدث فقد جزء من الضاغط مساو للارتفاع المنسوب الى فرق هاتين السرعتين ويمكن وضع المعادلة (٢) بهذه الصورة لسهولة حفظها

$$\frac{\bar{ع}^2}{2د} + \frac{ضَ}{ط} + سَ = \frac{\bar{\bar{ع}}^2}{2د} + \frac{(ع - \bar{\bar{ع}})^2}{2د} + \frac{ضً}{ط} + سً \quad \cdots (٣)$$

ويمكن ايضا تحصيل الناتج المتقدم بواسطة قضية تأثير الاشغال النظرية ولكن لاجل زيادة الايضاح نشرح الدعوى العملية فنقول

اذا سقط عرق مائع سقوطا رأسيا بسرعة معينة رمزها ع في انية ساكنة محتوية قبل ذلك على كمية من جنس المائع الساقط دلت التجربة على انه اذا كان عمق الماء الموجود في الانية كافيا فان الماء الوارد يسكن سريعا ويكون سطحه الاعلى باقيا على افقيته مدة صعوده ومن ذلك ينتج أن التأثيرات العنصرية للمائع والآنية التي تتصل تحركاتها الارتجاجية بالمساند والهواء المحيط تحدث في عناصر المائع الساقط شغلا سالبا مساويا لحدته عند وصوله الى الآنية فاذا رمز بالحرف م لجسم المائع الواصل للانية في الثانية الواحدة ولسرعته عند وصوله للانية بالحرف ع كان المقدار الرقمي للشغل السالب المذكور حينئذ في الثانية الواحدة مساويا الكمية $\frac{1}{2}$ م ع^2

فاذا كانت عَ سرعة العرق وكان للآنية على اتجاه تلك السرعة سرعة عً كان الشغل السالب للتأثيرات العنصرية المتعلق بالتحرك النسبي دون غيره عين الشغل الحادث لو كانت الانية ساكنة وكانت عَ ــ عً سرعة المائع الوارد فاذن يكون مقدار الشغل المذكور في الثانية الواحدة

$\frac{1}{2}$ م (عَ ــ عً)^2 وفي هذه الكمية يكون م دالا على مجسم الماء الذي ينتقل في كل ثانية من السرعة عَ الى السرعة عً

٣٥ ويسهل بواسطة ما تقدم تطبيق قضية تأثير الشغل على تحرك الجملة المائعة المبينة في (بند ٣٣) فيقال

اذا رمز بالحرف ث الى ثقل المائع المتصرف في المدة ے فان ازدياد الحدة في المدة المذكورة يكون

$$\frac{1}{2} \frac{ث}{د} (\bar{\bar{ع}}^2 - \bar{ع}^2)$$

ويكون شغل الضغط ـَضَـ على المستوى اَبَ المنقول في المدة ے الى دَحَ

ضـ

ضـ سَ عَ ے

ويكون شغل الضغط سً ضـ على المستوى أَبً المنقول الى دً حً

ضـ سً عً ے

ويكون شغل التثاقل ث (سَـ — سً)

ويكون شغل تأثير العناصر بموجب الدعوى العملية المتقدمة

$\frac{1}{٢}$ $\frac{ث}{ح}$ (عَ — عً)٢

وبالجملة فلا يحدث شغل مّا من الانضغاطات الحاصلة على السطحين الثابتين اللذين هما المنطقة المستوية م آن بَ والسطح الاسطوانى م أً بً ن

فاذا سوينا ازدياد الحدة بالشغل ونبهنا على أنه يمكن ابدال الجميع سَ عَ ے و سً عً ے المتساويين بالكمية $\frac{ث}{ط}$ وقسمنا حدود المعادلة على ث فانه يحدث القانون المقرر فى (بند ٢٣) وهو

$$\frac{عً^٢}{٢ح} - \frac{عَ^٢}{٢ح} = \frac{ضَ}{ط} - \frac{ضً}{ط} + (سَـ - سً) - \frac{(عَ - عً)^٢}{٢ح}$$

٢٦ قد فرض فى شكل (بند ٢٢) أن توازى الخيوط المارة بالقطع أَبَ يحصل بواسطة تقمع الانية فى الجزء التالى لهذا القطع من الخلف فاذا كان أَبَ كما فى (شكل ١٣) قطع العرق خارج من الانية خلف هذا القطع من منفذ رقيق منها لا تختل النظرية المتقدمة ومعادلة (٢) ايضا بشرط أن يكون أَبَ مأخوذا فى موقع الانضمام الكلى المسلم أن سعته مساوية ٦٢ ر٠ من سعة المنفذ ولنجرى تطبيق النظريات المتقدمة فنقول

٢٧ لنفرض كما فى (شكل ١٤) انية متسعة القطع من جزئها الاعلى اب والتوازن الاعلى للمائع فيها ثابت بسبب الوارد ومائعها ينصب من جزئها الاسفل فى آنية اخرى من منفذ رقيق ح د ويخرج من منفذ آخر رقيق منها ايضا حَ دَ

وليكن ـ و ـَ سعتا المنفذين ح د و حَ دَ و ـً سعة القطع أً بً للجزء الاسطوانى من الانية السفلى الملصق باسفل الانية العليا والمعلوم

الضغطان المتوسطان $\text{ض}_١$ و ض على كل متر مربع من السعتين اب و وَ
وكذلك البعدان $\text{س}_١$ و س لمركزى ثقل القطعين المذكورين عن مستو
افقى والمطلوب سرعة الخروج ع فى القطع وَو

فلحل ذلك يجعل $\text{ض}'$ الضغط على المتر المربع فى القطع المنضم اَبَ و $\text{س}'$
بعد مركز القطع المذكور عن المستوى الافقى و $\text{ع}'$ سرعة المائع فى القطع
المذكور و $\text{س}''$ بعد مركز ثقل القطع اَّبَّ

فحيث لم يوجد انقباض فوق المنفذ ح د وامكن اهمال السرعة
فى المستوى اب يحدث

$$\frac{\text{ض}_١}{\text{ط}} + \text{س}_١ = \frac{\text{ع}'^٢}{٢\text{ح}} + \frac{\text{ض}'}{\text{ط}} + \text{س}'$$

وباعتبار حصول الانقباض فى الجزء المحصور بين اَبَ و اَّبَّ يحدث
بمقتضى (بند ٢٣)

$$\frac{\text{ع}'^٢}{٢\text{ح}} + \frac{\text{ض}'}{\text{ط}} + \text{س}' = \frac{\text{ع}''^٢}{٢\text{ح}} + \frac{(\text{ع}' - \text{ع}'')^٢}{٢\text{ح}} + \frac{\text{ض}''}{\text{ط}} + \text{س}''$$

وباعتبار ماهو حاصل بدون تغير دفعى من القطع اَّبَّ الى القطع وَو
يحدث $\frac{\text{ع}''^٢}{٢\text{ح}} + \frac{\text{ض}''}{\text{ط}} + \text{س}'' = \frac{\text{ع}^٢}{٢\text{ح}} + \frac{\text{ض}}{\text{ط}} + \text{س}$
بالتنبيه على أن ع و ض هما السرعة والضغط فى القطع وَو وبضم هذه
المعادلات الثلاثة الى بعضها يحدث

$$\frac{\text{ض}_١}{\text{ط}} + \text{س}_١ = \frac{\text{ع}^٢}{٢\text{ح}} + \frac{\text{ض}}{\text{ط}} + \text{س} + \frac{(\text{ع}' - \text{ع}'')^٢}{٢\text{ح}} \quad .. \quad (٤)$$

وهذا مثل ما اذا لم يكن هنالك شغل مقاوم منسوب لاهتزاز المائع وكان
منفذ الخروج مرتفعا بقدر الارتفاع $\frac{(\text{ع}' - \text{ع}'')^٢}{٢\text{ح}}$

ويسهل اجراء هذا الناتج المتقدم وان كثر عدد الاوانى المتصلة ببعضها بواسطة
رقاع مثقوبة

٢٨ ولاجل تعيين السرعة ع بواسطة معادلة (٤) يكفى التنبيه
على أن لكل من السرعتين $\text{ع}'$ و $\text{ع}''$ ارتباط بسيط بالسرعة ع فاذا
رمز بالحرف م الى مكرر الانضمام فانه يحدث للتصرف ثلاثة مقادير
متكافئة فى الثانية الواحدة $\text{م}\,\text{ع} = \text{ب}\,\text{ع}'' = \text{م}'\,\text{ع}'$ ومنها ينتج

$\text{ع}'$

$ع' - ع'' = ع\left(\frac{ت}{ت'} - \frac{م}{ت''}\right)$ فاذن تصير معادلة (٤) هكذا

$$\frac{ع^{2}}{2د}\left[1 + \left(\frac{ت}{ت'} - \frac{م}{ت''}\right)^{2}\right] = \frac{ض_{1}}{ط} - \frac{ض}{ط} + س_{1} - س$$

ومن ذلك يستنتج $ع$ ويستخرج المتصرف من القانون

$$هـ = م\, ب\, ع$$

وينبغي التنبيه على أن هذه النظرية يعرض لها الخطأ المقرر في (بند ٢٠) ولنمثل بمثال فنقول

٢٩ ليفرض كما في (شكل ١٥) انية مملوءة على الدوام بسبب الوارد يتصرف مائعها من انبوبة قطرها ٠٫٠٣٦٢م وبها اربع رقاع مثقوبة ثقبا واحدا قطره ٠٫٠٠٦٥م ومتباعدة عن بعضها بقدر ٠٫٣١٤م بحيث يكون الطول الكلي للانبوبة ثلاثة امثال البعد المذكور والمطلوب المتصرف في الثانية الواحدة بالنسبة للضاغط الكلي $س_{1}$ المحسوب من التوازن الاعلى للمائع في الانية الى المنفذ الاسفل الذي يصب في الهواء

ولتكن $ع$ السرعة في محل الانضمام امام كل من المنافذ الاربعة المتساوية و $ع'$ سرعة المائع في الانبوبة في الامكنة التي يعود فيها توازي الخيوط فينبغي أن تجعل $ض_{1} = ض$ في القوانين المتقدمة ويوجد هنا ثلاثة انقباضات متساوية حاصلة في داخل الانبوبة ينشأ عن كل منها فقد في الضاغط قدره $\left(\frac{ع - ع'}{2د}\right)^{2}$ فاذن يحدث

$$\frac{ع^{2}}{2د} + 3\frac{(ع - ع')^{2}}{2د} = س_{1}$$

فاذا رمز بالحرف $م$ الى معكر الانضمام وبالحرف $ب$ الى سعة الثقوب وبالحرف $ت$ الى سعة قطع الانبوبة فانه يحدث

$$م\, ب\, ع = ت\, ع'$$

فاذن تصير المعادلة المتقدمة

$$\frac{ع^{2}}{2د}\left[1 + 3\left(1 - \frac{م\, ب}{ت}\right)^{2}\right] = س_{1}$$

وبذلك يكون المتصرف في الثانية الواحدة

$$هـ = م\, ب\, ع = ب\sqrt{2\, د\, س_{1}}\ \frac{م}{\sqrt{1 + 3\left(1 - \frac{م\, ب}{ت}\right)^{2}}}$$

وبجعل م = ٠٫٦٢ وابدال $\frac{م}{ح}$ بكمية $\left(\frac{٠٫٠٠٦٥}{٠٫٠٢٦٢}\right)^{٢}$ أو ٠٫٠٦١٥ يحدث

$$\frac{م}{\sqrt{١+٣\left(١-\frac{م}{ح}\right)^{٢}}} = ٠٫٥١٥ \times م = ٠٫٣١٩$$

وقد حدث عن التجربة التى عملها المهندس ايتلوين فى الاحوال المتقدّمة وذكرها المهندس دوبويسون ٠٫٣٣١ عوضا عن العدد المتقدّم وهو ٠٫٣١٩ وذلك ناشئ من عدم ضبط مقدار المكرّر م ومن كون الرّقاع ليست كافية البعد لاجل تحقيق فروض النظرية المتقدّمة لان المهندس ايتلوين المذكور شاهد أن المتصرّف يزيد مع تقارب الرّقاع وعدم تغير الضاغط واسبابه ذلك سهلة الادراك

الفصل السابع

فى بيان تأثير الموصلات الاسطوانية

٣٠ اذا وصل المنفذ المصنوع فى حائط مستو بوصلة اسطوانية طولها يساوى اقل ما يكون قطر المنفذ مرة ونصف شوهد أن العرق السائل لا ينقبض انقباضا معتبرا بعد خروجه من الانبوبة المذكورة ومن هنا ينتج انه اذا فرض أن للخيوط المركب منها العرق المذكور سرعة واحدة وامكن اهمال الشغل المادّى فانه ينتج بموجب (بند ٦) للحجم المتصرّف فى الثانية الواحدة من انبوبة قطعها ب والضاغط على مركز ثقلها س

$$هـ = ب\sqrt{٢ ح س}$$

مع انه يحدث من التجربة عندما يكون طول الوصلة قدر القطر مرتين اوثلاثا

$$هـ = ٠٫٨٢ ب \sqrt{٢ ح س}$$

وهذا المتصرف اعظم منه فى الحالة التى لا يوجد فيها انبوبة لان مقدار المتصرف فيها حينئذ

٠٫٦٢ر١٠

$$\text{٦٢ر٠} - \sqrt{\text{٢ج س}} \quad \text{تقريبا}$$

٣١ ويمكن ايضاح ذلك الناتج التجريبي بالنظرية فاذا شرع المائع في التصرّف من الموصلات وكان العرق غير مماس للموصل المذكور من مبدء الامر وجب أن يجلب جزءا من الهواء المحيط به وحينئذ ينقص ضغط الهواء الداخل في الموصل على العرق المنقبض وتزداد سرعة العرق المذكور الا أن ضغط الهواء الجوّى يضعف بتأثيره جزء العرق التالى للانقباض فحينئذ يحصل للعرق انتفاخ حتى يصل الى الموصل فيلتصق به ويستمر كذلك الى أن يخرج وذلك لا يمنع من حصول الانضمام على بعد من مبدء الموصل يساوى نصف القطر تقريبا انظر (بند ١٣)

ولتكن ع َ كما في (شكل ١٦) السرعة المشتركة للخيوط في المستوى أَبَ الذى يحصل فيه اعظم انضمام للعرق و سَ سعة قطع العرق في المستوى المذكور و ضَ الضغط المتوسط على المتر المربع في المستوى المذكور و ع السرعة المفروض اشتراكها بين جميع خيوط العرق في المستوى أ ب الذى هو نهاية الموصل و س قطع العرق والموصل و ض ضغط الجزء على المتر المربع

فباجراء ما تقرّر في (بند ٢٨) والتنبيه على أن الضغط ض مؤثر في المستوى الاعلى ه ه للمائع في الانية يحدث

$$\frac{\text{ع}'^{2}}{\text{٢ج}} = \text{س} + \frac{\text{ض}}{\text{ط}} - \frac{\text{ض}'}{\text{ط}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (١)$$

$$\text{و} \quad \frac{\text{ع}^{2}}{\text{٢ج}} - \frac{\text{ع}'^{2}}{\text{٢ج}} = \frac{\text{ض}}{\text{ط}} - \frac{\text{ض}'}{\text{ط}} - \frac{(\text{ع}'-\text{ع})^{2}}{\text{٢ج}} \quad \cdots \quad (٢)$$

ومن هنا يحدث

$$\frac{\text{ع}^{2}}{\text{٢ج}} = \text{س} - \frac{(\text{ع}'-\text{ع})^{2}}{\text{٢ج}} \quad \cdots \quad (٣)$$

وزيادة على ذلك ه = سَ عَ = س ع فبجعل ٦٢ر٠ = م

يحدث $\text{س}' = \text{م س}$

ومن هنا ينتج $\text{ع}' = \frac{\text{ع}}{\text{م}}$

وحينئذ تصير المعادلة (٣) هكذا

$$\frac{\text{ع}^{2}}{\text{٢ج}} \left[١ + \left(\frac{١}{\text{م}} - ١\right)^{2} \right] = \text{س} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (٤)$$

وبابدال م بمقدارها الذى هو ٦٢ ر٠ فى هذه المعادلة يحدث

$$1{,}376 \frac{ع^2}{ح^2} = س$$

ومن هنا يحدث

$$ع = 0{,}85 \sqrt{2 ح س}$$

٣٢ ولم تفد التجربة الا ٨٢ ر٠ عوضا عن ٨٥ ر٠ ويدرك هذا الفرق الصغير من عدم تساوى السرعة بين خيوط العرق السائل حيث أن ع تدل على السرعة المتوسطة لخيوط العرق السائل وليست هى السرعة المشتركة بين هذه الخيوط

فاذا رمز كما فى (بند ٢٥) بالحرف ث الى ثقل السائل المتصرف فى المدة ى فانه يحدث ايضا ث = ط ع ى وحينئذ فخفة هذا المائع عند مروره بالمستوى أب لاتكون $\frac{1}{2} \frac{ث}{ح} ع^2$ بل أعظم من ذلك وسنوضح هذا التنبيه فيما بعد عند الكلام على مبحث تصرف الماء فى الخلجان فعلى هذا ينبغى فى المعادلات المتقدمة ابدال $\frac{ع}{ح^2}$ بالكمية ه $\frac{ع^2}{ح^2}$ فحينئذ تصير المعادلة (٤) هكذا

$$\frac{ع^2}{ح^2} (ه + 0{,}376) = س \quad \ldots\ldots \quad (5)$$

وحيث كان يحدث من التجربة

$$ع = 0{,}82 \sqrt{2 ح س} \quad \text{أو} \quad 1{,}487 \frac{ع^2}{ح^2} = س$$

ينتج أن $ه = 1{,}111$

ويتبين من القانون $س = 1{,}487 \frac{ع^2}{ح^2}$ نتيجة ينبغى حفظها وهى ان الضاغط س فى هذه الحالة يكون قدر الارتفاع المنسوب لسرعة الخروج مرة ونصفا تقريبا

٣٣ ولاجل تعيين الضغط الداخل ضَ نستعمل السرعة التجريبية $ع = 0{,}82 \sqrt{2 ح س}$ التى منها $عَ = \frac{0{,}82}{0{,}62} \sqrt{2 ح س}$ وبابدال عَ بمقدارها هذا فى المعادلة (١) يحدث

$$\frac{ض - ضَ}{ط} = \left[\left(\frac{0{,}82}{0{,}62}\right)^2 - 1\right] س = 0{,}75 \, س$$

وقد تحقق هذا الحاصل بتجربة شهيرة جدًا عملها المهندس وانتورى فوضع المهندس المذكور كما فى (شكل ١٧) معوجة من زجاج وصل احدى نهايتيها بموصل اسطوانى على بعد من المنفذ يساوى ١٨٠,٠م وجعل قطر الموصل المذكور ٠٤٠٦,٠م وطوله ١٢٢,٠م وغمس نهايتها الاخرى فى الانية م م الممتلئة بالماء الملون ولما كان مقدار الارتفاع س للماء فى الحوض فوق محور الموصل ٨٨,٠م رأى أن الماء الملون يرتفع فى المعوجة الزجاجية بواسطة الامتصاص الى ارتفاع قدره ٦٥,٠م

ومن البديهى أن هذه الحوادث لا تتأتى فى الفراغ فتى اجريت العملية فى الهواء لا يمكن أن يرتفع المائع فى المعوجة قدر ارتفاع العمود المعادل لضغط الجو من هذا المائع

٣٤ وقد أسست نظريات وقوانين (بند ٣١ وبند ٣٢ وبند ٣٣) على أن الانية التى ركب عليها الموصل كبيرة بالكفاية بحيث يرد المائع منها من جميع الجهات الى الموصل المذكور على صورة خيوط متماثلة الوضع بالنسبة لمحوره الشكلى كما فى الشكل (المكرر ١٧) وقد دلت التجاريب التى اجراها المهندس جنيس والمهندس ماليه معى على انه اذا كانت الانية اسطوانية وكان قطرها ٢٠,٠م وكان قطر الموصل ٠٨١,٠م كان الارتباط بين السرعة ع والضاغط س س = ٣ $\frac{ع^٢}{٢ح}$ تقريبا أو ع = ٥٨,٠ $\sqrt{٢ ح س}$ ولاجل موافقة هذا الناتج لما تقدم فى (بند ٣٢) يكفى جعل ١١,١ + $(\frac{١}{م} - ١)^٢$ = ٣ أو م = ٤٢,٠

وقد شوهد أنه كلما تناقص قطر الانية مع بقاء قطر الموصل بحاله تناقص المكرر م وتزايدت نسبة الضاغط س للارتفاع $\frac{ع^٢}{٢ح}$

٣٥ تطبيقات ما تقدم أولا على السد بالكتل

فالسد بالكتل أن يوجد مجرى من الماء مار بين رصيفين او حائطين متوازيين

ما بينهما مسدود من أسفل بكتل مرموز اليها في (الشكل ١٨) بالرموز
ل و لَ و لً و لٌ وموضوعة فوق بعضها بحيث يتكون منها سد ينصب
من فوقه الماء الى الجهة السفلى المنحط توازن الماء فيها عن العليا فمتى اريد
تعلية السد المذكور وجب احدار كتلة اخرى ـ بالتيار واحكامها
في الوضع ـَ اى بحيث يأتى طرفاها على زيى الرصيفين ومتى وصلت الى
هذا الوضع يرى انها تهبط بنفسها على الكتلة ل وبهذا يعلو السد وسبب
ذلك سهل الايضاح لان الخلل الكائن بين الكتلة ـَ و ل أحدث
موصلا وبذلك يصير الضغط الحادث من المائع على الوجه الاسفل من الكتلة
ـَ اقل من الضغط الحادث من الجو على الوجه الاعلى من الكتلة المذكورة
وحينئذ تهبط هذه الكتلة من تأثير فرق الضغطين المذكورين ومن ثقلها الذى
هو اعظم من مقاومة الاحتكاك الحادث من انضغاط الكتلة بالمائع على زيى
الرصيفين وينبغى التنبيه على أن الكتل لً و لٌ ... لخ الاول التى
يلزم وضعها تحت مستوى التوازن الاسفل للجهة السفلى لا تهبط بنفسها
الى مواضعها كالكتلة ـَ

٣٦ وثانيا على عقب السد فاذا فرض أن اأ كما في (الشكل ١٩) عقب
قطعه العرضى مستطيل ويتكئ على بغلين من البناء ما بينهما مغلوق من اسفله
بفرش ب بَ ومرتفع عن المقر ح حَ لنهر مر الماء بين الضلع ا
الاسفل الامامى للعقب وبين بَ الذى هو الضلع الاعلى الخلفى للفرش
ب بَ بسرعة منسوبة لارتفاع سطح التوازن ن نَ لماء النهر فوق
النقطة ا وحيث كانت سرعة الماء بين اسفل العقب وبين ح حَ
الذى هو مقر النهر اقل من سرعة الماء في ا ب وأن نسبتها اليها كنسبة
ا ب : ا ح تقريبا لزم حينئذ أن يحدث الماء على اسفل العقب ضغطا
اعظم من ضغط الجو وهذا الضغط سهل التقدير وبناء على ذلك يمكن ان يكون
ثقل العقب والاحتكاك الحادث منه على البغلين غير كاف لموازنة الضغط
الحادث على اسفله وفي هذه الحالة تفتح المنافذ و المصنوعة في الوجه الخلفى

من

من العقب لتدخل فيه كمية الماء اللازمة للتوازن فاذا اريد اهباط العقب زيدت الكمية المذكورة واذا اريد اصعاده اغلقت المنافذ و وفتحت المنافذ الاخرى وَ المصنوعة فى الوجه الامامى للعقب ومنها يتصرف الماء فى الجهة السفلى وقد يرتفع العقب بنفسه بعد توازنه بدون فتح المنافذ وَ المذكورة اذا ارتفع ن ن الذى هو السطح الاعلى لماء النهر

الفصل الثامن
فى التحرك الدوامى للموائع
فى انابيب التوصيل

٣٧ اذا كان الماء متحركا فى موصل طويل فانه وان كان اسطوانيا وخيوط السائل متوازية فيه تقريبا بعد انضمام المدخل لا يمكن اهمال تأثير قوة المقاومة الحادثة من الانبوبة الاسطوانية المذكورة فى المائع وهى قوة مشابهة للاحتكاك الحادث من تحرك جسم صلب مماس لآخر وقد دلت التجربة بالسهولة على وجود القوة المذكورة وذلك لانه ينقص تصرف الانبوبة المركبة على حوض ارتفاع الماء فيه ثابت كلما اعظم طولها وان كان قطر الموصل المذكور وبعد استواء الحوض عن منفذه باقيين على حالة واحدة

٣٨ يمكن أن يتصور بالكيفية الآتية تأثير المقاومة الطولية للموصل المفروض استقامته تقريبا وامتلاؤه بمائع دوامى التحرك وأن يتصور ايضا أن المائع منقسم الى طبقات مستديرة رقيقة جدا ومتحدة فى محور الاسطوانة فيمكن اعتبار تأثير مقاومة الموصل واقعا على الطبقة الاولى المجاورة للموصل فى جهة مضادة لجهة تحرك المائع وحيث أن تحرك الطبقة الثانية اسرع من تحرك الاولى يعتريها من الطبقة المتقدمة مقاومة مماثلة لمقاومة الموصل وناشئة عن عدم تمام السيولة وعن التحرك النسبى لكل من الطبقتين وكذلك يعترى الطبقة الثالثة من الثانية تأثير معطل واصغر من التأثير الحادث لها من الاولى وهكذا الى الخيط المركزى الذى هو اعظم سرعة من غيره فى التيار ومن هنا يشاهد أن كل طبقة متوسطة تتعطل بالطبقة المحيطة بها وتجر بالمحاطة

بها ولم يمكن الى الآن تقدير هذا الحادث بواسطة الحساب ولو امكن ذلك لكان هذا المبحث عظيم الشهرة فى النظر دون العمل الذى يكفى فيه أن تحرك الماء فى موصل معين يكون معلوما بالكفاية متى علم تصرف هذا الموصل أو السرعة المتوسطة للمائع فيها

٣٩ والمتصرف الحادث فى الثانية الواحدة لتيار دوامى هو الجم الثابت المتصرف مدة كل ثانية من المائع ولنرمز له بالحرف هـ والسرعة المتوسطة فى قطع عمودى على الخيوط السائلة هى خارج قسمة المتصرف على سعة القطع ولنرمز لها بالحرف ع فيكون ع = هـ/س بجعل س رمزا لسعة القطع وفى حالة ما يكون الموصل اسطوانيا مملوءا بمائع متحرك تحركا دواميا تكون الكميتان س و ع ثابتتين فى سائر امتداد هذا الموصل ولنطبق دعوى كميات التحرك المسقطة على محور على الجزء المائع المحصور فى وقت معين بين القطعين أَبَ و أً بً مع اعتبار محور السقوط موازيا لاضلاع الاسطوانة وحيث كان لكل من الخيوط التى يتركب منها الجزء المذكور تحرك منتظم تكون كمية التحرك الكلية باقية مدة الزمن ت على حالها والمجموع الجبرى للقوى الخارجة الواقعة على الجملة مسقطة على محور ما كمحور الاسطوانة مثلا يكون معدوما وهذه القوى هى

اولا الانضغاطات الواقعة خلف الجملة فاذا رمز بالحرف ض الى الضغط الخاص بالمتر المربع فى النهاية الخلفية لخيط قطعه العرضى صغير جدا وسعته ه فان الضغط الكلى الحادث على القاعدة الخلفية للخيط المذكور يكون ض ه وهذا الضغط غير متعلق بالسرعة الخاصة بالخيط ومجموع الانضغاطات الحادثة على القاعدة الخلفية للجملة يكون ∑ ض ه أو ضَ س بجعل ضَ رمزا للضغط الخاص بالمتر المربع فى القطع أَبَ

وثانيا الانضغاطات الواقعة امام الجملة ومجموعها الجبرى المسقط على محور الاسطوانة يكون سالبا وقد يتبين ايضا بالرمز ـ ضً س بجعل ضً

رمزا

رمزا للضغط المتوسط الخاص بالمتر المربع فى القطع أً بً

وثالثا ثقل الجملة ومسقطه العمودى على محور الاسطوانة يكون
ط ـ (سَ ـ سً) بجعل سَ و سً رمزين لبعدى مركزى
ثقل القطعين أبَ و أبً عن مستو ما افقى

ورابعا المقاومة الطولية للموصل وقد برهن المهندس برونى بعد اطلاعه على
تجاريب متنوعة منسوبة الى المهندسين شيزى ودوبوا وكلب وجيرار سيما
باطلاعه على قاعدة المهندس كلب على انه يمكن تحقيق الحوادث المشاهدة
بالتجاريب فى احوال عديدة متنوعة بأن تجعل المقاومة المذكورة مساوية
لحاصل ضرب سطح تماس الموصل بالمائع فى دالة السرعة المتوسطة مركبة
من حدين احدهما مناسب للدرجة الاولى من السرعة المذكورة وثانيهما
مناسب للدرجة الثانية منها فحينئذ اذا جعلت ل رمزا للطول أَ أً
الذى هو الجزء المعتبر من الموصل و ح رمزا لمحيط القطع و ه و هَ
رمزين لكميتين ثابتتين معينتين بالتجربة فان تأثير المقاومة الطولية للموصل
فى الجملة المائعة التى هى أبَ أبً يكون مبينا بالكمية

ل ح (ه ع + هَ ع ٢)

ومن ذلك ينتج هذا الحادث الشهير جدا الذى بينته التجربة دون غيرها وهو أن
مقاومة موصل لتحرك مائع تكون متغيرة مع السرعة لكن لا تكون متعلقة
بالضغط الحادث من المائع على الموصل واما احتكاك الاجسام فهو متعلق
بالضغط لا بالسرعة النسبية وهذه القواعد الناشئة عن التجربة وان كانت
غير قطعية يمكن استعمالها فى الاحوال الاعتيادية

اذا تقرر هذا فانه يحدث من الدعوى المذكورة

ضَ بَ ـ ضً بً + ط (سَ ـ سً) ـ ل ح (ه ع + هَ ع ٢) = ٠

أو انه يحدث عند قسمة جميع الحدود على ط وجعل

ه/ط = و و هَ/ط = وَ

ضَ بَ/ط ـ ضً بً/ط + سَ ـ سً ـ ل ح/ط (و ع + وَ ع ٢) = ٠ [ب]

٤٠ اى موصل على اى طول كان ثابت القطع مملوء بمائع تحركه دوامى اذا اعتبر منه جزء رمزه أ أً وليس به الا انحناءآت خفيفة امكن قسمه من أَ الى أً اجزاء مستقيمة تقريبا ينتج عن كل منها معادلة مشابهة للمعادلة (ب) وبجمع هذه المعادلات يحدث القانون

$$\frac{ضَ}{ط} - \frac{ضً}{ط} + سَ - سً - ل \frac{ح}{ع} (و ع + وَ ع) = ٠ \quad (١)$$

الذى يكون فيه ضَ و ضً رمزين للضغطين الحاصلين على المتر المربع فى كل من النهايتين أَ و أً و سَ و سً رمزين لبعدى المحور فى هاتين النهايتين عن مستو افقى و ل رمزا لطول امتداد الموصل بين النهايتين المذكورتين

٤١ الحدان $\frac{ضَ}{ط}$ و $\frac{ضً}{ط}$ يدلان على الارتفاعين المنسوبين للضغطين ضَ و ضً فاذا تصورنا كما فى (الشكل ٣٠) ميزانى ضغط مركبين على القطعين أَ و أً يرتفع المائع فيهما الى الارتفاعين كَ و كً فوق مركزى ثقل القطعين المذكورين يحدث بالرمز الى ضغط الجو بالحرف ض

$$\frac{ضَ}{ط} = \frac{ض}{ط} + كَ \quad و \quad \frac{ضً}{ط} = \frac{ض}{ط} + كً$$

ومن ذلك ينتج أن مجموع $\frac{ضَ}{ط} - \frac{ضً}{ط} + سَ - سً = (كَ + سَ) - (كً + سً)$ أو

يساوى الارتفاع ف الذى هو بعد توازن رأسى العمودين القياسيين وتسمى هذه الكمية المحققة لمعادلة

$$ف = ل \frac{ح}{ع} (و ع = وَ ع)$$

التى تكون معدومة لو كان احتكاك الموصل معدوما باسم مفقود الضاغط المنسوب الى مقاومة الموصل فى الطول ل

٤٢ ويطلق على خارج قسمة $\frac{ف}{ل}$ اسم مفقود الضاغط فى كل متر من طول الموصل ولنرمز له بالحرف ف فاذا رمز بالرمز قط الى قطر الموصل فانه يستخرج من ذلك

$$ح = ع \frac{قط}{٤} \quad ومنها ينتج \quad \frac{ح}{ع} = \frac{قط}{٤}$$

فتصير

فتصير المعادلة المتقدمة كما وضعها المهندس برونى

$$\frac{1}{4} \text{ قط ف} = \text{و ع} + \text{وَ ع}^2$$

وهذه المعادلة هى المستعملة بكثرة فى المسائل الخاصة بأنابيب توصيل المياه فينبغى حينئذ ان يتفطن الى أن الدالة $\text{و ع} + \text{وً ع}^2$ للسرعة المتوسطة مساوية لحاصل ضرب مفقود الضاغط فى كل متر من طول الموصل مضروبا فى ربع قطره

٤٣ وقد عين المهندس برونى بتجاريب عديدة مقدارين للكميتين و و وَ الثابتتين فى الحالة التى يكون فيها المائع ماء ثم غيرفيها المهندس ايتلوين تغييرا يسيرا

وبجعل المتر وحدة للطول وضع كل من المهندسين المذكورين آنفا للكميتين المذكورتين مقدارين

فوضع المهندس برونى لهما و = ٠٠٠٠١٧٣ر٠ و وَ = ٣٤٨ ٠٠٠ر٠

ووضع المهندس ايتلوين لهما و = ٠٠٠٠٢٢٢ر٠ و وَ = ٢٨٠ ٠٠٠ر٠

٤٤ اذا فرض كما فى (شكل ٢١) أن الانبوبة متحدة القطر من مبدئها ومستعملة وصلة بين حوضين مستوى التوازن فى كل منهما ثابت بسبب الوارد ومماس للجو وأن سرعة الماء مهملة فى كل من الحوضين المذكورين فان معادلة (١) تأخذ صورة بسيطة بان يجعل ضـ رمزا لضغط الجو و ضـَ رمزا للضغط الحاصل فى داخل الموصل على بعد من مبدئه يساوى ثلاثة امثال قطره تقريبا وبمعرفة معانى بقية الرموز من مراجعة الشكل يحدث

$$\text{وع} = ٠{,}٨٢ \sqrt{٢ ح \left(\frac{\text{ضـ}}{\text{ط}} - \frac{\text{ضـَ}}{\text{ط}} + \text{ىَ}\right)}$$

$$\text{أو} \quad \left(\frac{١}{٠{,}٨٢}\right)^2 \frac{\text{وع}^2}{٢ح} = \frac{\text{ضـ}}{\text{ط}} - \frac{\text{ضـَ}}{\text{ط}} + \text{ىَ}$$

$$\text{و} \quad \frac{\text{ضـً}}{\text{ط}} = \frac{\text{ضـ}}{\text{ط}} + \text{ىً}$$

ومن هنا ينتج

$$\frac{\text{ضـَ}}{\text{ط}} - \frac{\text{ضـً}}{\text{ط}} = \text{ىَ} - \text{ىً} - ١{,}٤٩ \frac{\text{وع}^2}{٢ح}$$

و $\frac{ضَ}{ط}$ ـ $\frac{ضً}{ط}$ + سَ ـ سً = لا ـ ١٫٤٩ $\frac{وع^٢}{٢ج}$

فاذا وضعناهـذا المقدار فى المعادلة (١) وابدلنا فيها $\frac{ح}{ـ}$ بالكمية $\frac{٤}{قط}$ كما فى (بند ٣٢) فانه يحدث

لا = $\frac{٤ل}{قط}$ (وع + وَع^٢) + ١٫٤٩ $\frac{وع^٢}{٢ج}$ .... (٢)

بجعل لا رمزا لبعد توازن الماء فى الحوضين و ل رمزا لطول الموصل الكلى

واذا كان الموصل يصب فى الهواء لاتزال معادلة (٢) مستعملة وحينئذ يكون لا رمزا الارتفاع مستوى توازن الماء فى الحوض الاعلى عن مركز ثقل منفذ الخروج

وبواسطة هذه المعادلة تتعين احدى الكميات الاربعة التى هى لا و ل و قط و وع متى كانت الثلاثة الاخرى معلومة مثال ذلك اذا كان ل = ١٠٠٠م و قط = ٠٫٠٥م و وع = ١م

يوجد أن $\frac{٤ل}{قط}$ (وع + وَع^٢) = ٠٫٠٠٠٠٠٣٠٢٢ × ٨٠٠٠٠ = ١٧٫٢٤م و $\frac{وع^٢}{٢ج}$ = ٠٫٠٥١م

ومن هنا ينتج لا = ٢٣٫٢٥م

وكان يمكن اهمال الحد ١٫٤٩ $\frac{وع^٢}{٢ج}$ بدون أن يحدث من ذلك ضرر كما اجرى ذلك المهندس پرونى

٤٥ ولاجل ادخال المتصرف هـ الحاصل فى الثانية الواحدة المبين بالامتار المكعبة فى الحسابات توضع المعادلة

هـ = ط $\frac{قط^٢}{٤}$ وع أو هـ = ٠٫٧٨٥ قط^٢ وع ... (٣)

التى ينتج منها هى والمعادلة (٢) طريقة حساب اثنتين من الكميات الخمس لا و ل و قط و وع و هـ متى علمت ثلاثة منها

٤٦ وتختصر الحسابات بواسطة جدول فيه مقادير الدالة وع + وَع^٢ مقابلة للمقادير المختلفة للسرعة وع ويتحصل هذا الجدول الذى هو من مجموع الجداول الخمسة المنسوبة للمهندس پرونى بطريقة سهلة مضبوطة

وذلك

وذلك بالتنبه الى انه اذا كانت ع متزائدة بكمية ثابتة يكون الفرق الثانى للدالة ع + عَ التى بدرجة ثانية ثابتا ايضا

٤٧ وقد وضع المهندس مارى جدولا أفيد من المتقدم بين فيه للخمسة عشر قطر المختلفة التى هى اكثر استعمالا فى انابيب توصيل المياه مأخوذة من ٠٦,٠م الى ٦٠,٠م مقادير السرعة ع ومفقود الضاغط ف فى كل متر من الطول بالنسبة لمتصرف معلوم هـ مأخوذ من ٠,٠٠٠٠٢٣ الى ٠,٢٦٦ متر مكعب فى الثانية الواحدة

٤٨ اذا اريد ايجاد الضغط ض على المتر المربع فى نقطة ما ا من انبوبة التوصيل يرمز بالرمز س الى بعد هذه النقطة عن المستوى الافقى وبالرمز ل الى الطول اَا من نهاية هذا الموصل الكائن بالحوض الاعلى الى النقطة ا المعتبرة وتبدل ضً و سً و ل بالكميات ض و س و ل فى المعادلة (١) ثم تبدل $\frac{ض}{ط}$ بمقدارها المستخرج من المعادلة

$$ع = ٠,٠٨٢ \sqrt{٢ح \left(\frac{ضً}{ط} - \frac{ض}{ط} + ىَ\right)}$$

التى منها ينتج $\frac{ض}{ط} = \frac{ضً}{ط} + ىَ - ١,٤٩ \frac{ع^٢}{٢ح}$

ثم تبدل الكمية $\frac{ح}{ل}$ (وع + وَع^٢) بمقدارها

$$\frac{١}{ل} \left(لا - ١,٤٩ \frac{ع^٢}{٢ح}\right)$$

المستخرج من المعادلة (٢) فيتحصل حينئذ

$$\frac{ض}{ط} = \frac{ضً}{ط} + ىَ + سً - س - \frac{ل}{لَ} لا - ١,٤٩ \frac{ع^٢}{٢ح} \left(١ - \frac{ل}{لَ}\right) \quad (٤)$$

وهى معادلة ينبغى فيها ابدال ع بمقدارها المستخرج من المعادلة (٢) لكن لا حاجة الى ذلك حيث كان يمكن فى العادة اهمال الحد الاخير من هذه المعادلة اى الحد المحتوى على ع بسبب انه صغير ويحدث معنا للكمية $\frac{ض}{ط}$ بالتقريب جدا

$$\frac{ض}{ط} = \frac{ضً}{ط} + ىَ + سً - س - \frac{ل}{لَ} لا \quad \cdots \quad (٥)$$

واذا توهمنا فى النقطة ا مقياس ضغط به يرتفع الماء الى الارتفاع ى فانه يحدث لنا $\frac{ض}{ط} = \frac{ضً}{ط} + ى$ وينتج من هذه المعادلة مع

المعادلة (٥)

ىَ = ىَ + سَ — س — ل/ل لا

وهى كمية سالبة اذا حصل امتصاص فى النقطة أ المذكورة ويمكن وضع هذه المعادلة هكذا

ىَ + سَ — ى — س = ل/ل لا أو ف = ل/ل لا

بجعل ف رمزا لارتفاع توازن الماء فى الحوض الاعلى عن رأس عمود المائع المرتفع بالمقياس الموضوع فى النقطة أ وهذا القانون الاخير هو الذى يظهر كيفية تغير الضغط فى امتداد الموصل

٤٩ وينبغى التنبه الى أن المعادلة (٣) لاتستعمل الا اذا كان فراغ الموصل مملوءا بالمائع من جميع الجهات ومن المعلوم أن ذلك غير ممكن اذا كان الموصل على صورة مص نقطته العليا مرتفعة عن حوض صرف الماء بمقدار اكثر من ٣٠ر١٠م سيما اذا كان الاحتكاك معتبرا فى ذلك

وان هذه المعادلة يبطل استعمالها بحسب النظر اذا كان بالموصل نقط ينتج عنها بواسطة المعادلة (٤) ضغط سالب ض كما تقدم فى (بند ٣٠) وقد لاحظت ذلك بمشاهدة انبوبة توصيل مصنوعة بقرية من مملكة فرانسا يقال لها كرلويل صورتها مبينة فى (الشكل ٢٢)

فاذا جعلنا فى المعادلة (٤)

ض/ط = ٣٣ر١٠م و ىَ + سَ — س = ٨٠ر٠

و ل = ١٣٣٠ و ل = ١٤٧٠ و لا = ١٣

فاننا نجد للنقطة العليا من الانبوبة ض/ط < ١٣ر١١ — ١٣ × ١٣٣٠/١٤٧٠

أو ض/ط < — ٦٣ر٠

وهذا الناتج المحال يدل على أن الماء لايجرى فى جميع اجزاء الموصل مع امتلائه وانه يملأه من مبدئه اى من النقطة أ الى النقطة م الموجودة بعد النقطة العليا بالقرب منها وانه يجرى بدون امتلائه امتلاء كليا من م الى النقطة مَ الموجودة اسفل بالقرب منها ويملأ ما بقى منه وهو من النقطة مَ

الى

الى النقطة ب فاذا امكن اهمال تأثير الهواء المتصرف من الماء تحصل السرعة ع بتطبيق المعادلة (١) على الجزء أم من الموصل وبجعل ضً = ٠ فى المعادلة المذكورة

ومن المهم فى العمل أن لا يكون الضغط على نقطة مّا من الموصل اقل من ضغط الجوّ بكثرة لانه لو كان كذلك لتصرف الهواء الموجود فى المائع ومنع انتظام التحرك وصار الماء مع ذلك غير جيد للشرب

وتجرى جميع الاعتبارات والقوانين المتقدمة فى الممصات فيشاهد منها سبب تعطل تحرّك الماء فيها متى كان الماء المذكور قريبا من درجة الغليان

٥٠ ولنذكر هنا آخر هذا الفصل بيان طرق تحقيق قاعدة المقاومة الحاصلة من الموصل للماء المتحرك فيه بالتجربة وتعيين اجود مقدارى المكررين و و وَ وانما اخرنا ذلك لاجل عدم قطع شرح النظرية المتقدمة

فنضع معادلة (٢) من (بند ٤٤) على هذه الصورة

$$\frac{قط ف}{٤ ع} = و + وَ ع \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (٦)$$

التى فيها $ف = \frac{لا - ١٫٤٩}{ل} \times \frac{ع^٢}{٢ء}$

فاذا غيرنا فى التجربة الكميات قط و ل و لا امّا معا وامّا واحدة بعد اخرى ولاحظنا فى كل تغيير التصرف فى مدّة معلومة فانه يستخرج من ذلك بالسهولة المقداران المقابلان للكميتين ع و ف وبناء عليه يعلم الطرف الاوّل من معادلة (٦) المتقدمة

فاذا فرضنا فى مستو محورين احداثيين وعينا بالنسبة لهذين المحورين عدّة نقط احد احداثياتها مناسب لمقادير ع والاخرى مناسب لمقادير الطرف الاول من المعادلة (٦) وكانت القاعدة المبينة بالمعادلة المذكورة موافقة للتجربة بالضبط كانت عدّة النقط على مستقيم واحد بوضعه بالنسبة للمحورين يتعين المكرران و و وَ وقد عمل هذه العملية الرسمية المهندس برونى غير انه اهمل الحدّ ١٫٤٩ $\frac{ع^٢}{٢ء}$ الذى هو فى العادة صغير جدّا بالنسبة للكمية لا وبتطبيقه هذه العملية على احدى وخمسين

تجربة للمهندسين كوبليه وبوسو ودوبو اظهر أن القاعدة المذكورة محققة تقريبا وسهل عليه رسم مستقيم مبتعد قليلا عن النقط المعينة التى تكون تارة من فوقه وتارة من تحته ومن ذلك امكنه أن يستخرج المقدارين و و وَ الموافقين تقريبا لمعظم الحوادث

٥١ ويمكن ايضا تعيين المكررين و و وَ بالحساب سيما بطريقة اصغر مجموع مربعات الاخطاء ليحققان حواصل عدة تجاريب يظهر انها كلها مضبوطة

وليكن قَطَ وفَ وعَ و قطً وفً وعً و قطٌ وفٌ وعٌ الخ عدة مقادير للكميات قط و ف و ع معا فاذا جعل للمكررين و و وَ مقدارين معينين فان الكميات $\frac{1}{4}$ قَطَ فَ — و عَ — وَ عَ^{2}

و $\frac{1}{4}$ قطً فً — و عً — وَ عً^{2} و $\frac{1}{4}$ قطٌ فٌ — و عٌ — وَ عٌ^{2} الخ

لا تنعدم بل تدل على اخطاء كلية موجبة اوسالبة وتكون الكميات

$$1-\frac{\text{و عَ}+\text{وَ عَ}^2}{\frac{1}{4}\,\text{قَطَ فَ}}\quad \text{و}\quad 1-\frac{\text{و عً}+\text{وَ عً}^2}{\frac{1}{4}\,\text{قطً فً}}\quad \text{و}\quad 1-\frac{\text{و عٌ}+\text{وَ عٌ}^2}{\frac{1}{4}\,\text{قطٌ فٌ}}\quad \text{الخ}$$

اخطاء مناسبة ينبغى تصغيرها بقدر الامكان مع قطع النظر عن اشاراتها

ولذا تعين و و وَ بحيث يكون مجموع مربعات الاخطاء المذكورة نهاية صغرى وليكن حينئذ

$$\text{ك}=\left(1-\frac{\text{و عَ}+\text{وَ عَ}^2}{\frac{1}{4}\,\text{قَطَ فَ}}\right)^2+\left(1-\frac{\text{و عً}+\text{وَ عً}^2}{\frac{1}{4}\,\text{قطً فً}}\right)^2+$$

$$+\left(1-\frac{\text{و عٌ}+\text{وَ عٌ}^2}{\frac{1}{4}\,\text{قطٌ فٌ}}\right)^2+\cdots\cdots$$

ويؤخذ تفاضل هذا المجموع على التوالى بالنسبة الى كل من المتغيرين غير المتعلقين ببعضهما و و وَ ويوضع و $\frac{\text{فا ك}}{\text{فا و}}=0$ $\frac{\text{فا ك}}{\text{فا وَ}}=0$ فيحدث فى هذه الحالة معادلتان بدرجة اولى بين المجهولين و و وَ

٥٢ قد تقدم فى (بند ٣٣) أن المهندسين رونى وايتلوين وضعا كلاهما للمكررين و و وَ مقادير مختلفة حواصلها تتوافق فى السرعة

ع = ٠٧ر٠ لكن متى كانت ع = ١ اختلفت الحواصل بنسبة ١٢ الى ١٠ ويظهر من تجريبيات جديدة عملها المهندس مارى أن مقدارى المهندس پرونى فى حالة الانابيب الغليظة يدلان على سرعة قليلة بشئ يسير عن السرعة الحقيقيـة واما مقدارا ايتـلوين فانه يظهر انهما اقرب منهـما للحقيقة

الفصل التاسع

فى تأثير تغيرات قطع انبوبة التوصيل

٥٣ ولنبحث عن تحرك المائع فى انبوبة توصيل متغيرة القطع بواسطة قاعدة تأثير الشغل لكن لمزيد الايضاح نطبق فى مبدء الامر هـذه القاعدة على حالة ما اذا كان القطع ثابت المقدار فى امتداد الانبوب ففى هذه الحالة يقال حيث كان ازدياد الحـدّة معدوما بسبب أن السرع باقيـة على حالها للنقطـة المتشابهـة الوضع فى القطعين المتطرفين المعينين يكون مجموع اشـغال القوى خارجية كانت أو عنصرية مساويا بالصفر

وهذه القوى هى اوّلا الضغوط الخلفية وليكن جَ مركز ثقل القطع الخلفى اَبَ و ضـَ الضغط المتوسط على كل متر فى هذا القطع و ع السرعة المتوسطة فى الموصل ولنقسم القطع المذكور الى مناطق متحدة المحور رقيقة جدّا وليكن ف سعة احدى هـذه المناطق و فا ف احد اجزائها و ضـ الضغط على هذا الجزء و عَ السرعة الحادثة فى نقطة مّا من المنطقة و ى زمنا صغيرا جدّا ففى مدّة هذا الزمن يكون شغل الضغوط على المنطقة المذكورة ى عَ ضـ فا ف أو ى عَ ى ضـ فا ف لكن مجموع ى ضـ فا ف يساوى حاصل ف التى هى سعة المنطقة مضروبة فى الضغط المتوسط الواقع على هـذه المنطقة وهـذا الضغط المتوسط هو الذى يقع على النقطـة جَ التى هى مركز ثقل القطع بتمامه اعنى ضـَ (لانه يجوز اهمال تأثير الاحتكاك فى تغيير الضغوط على منطقة واحـدة) ومن ذلك ينتج أن

الشغل المذكور يكون فى كل منطقة مبينا بالكمية $= عَ \times ضَ ءَ$

لكن $= عَ ءَ$ يدل على حجم الماء المار بالمنطقة فى الزمن $ء$ فاذن يكون شغل الضغط مدة الزمن $ء$ فى قطع بتمامه سعته $ء$

$$= و عَ ء ضَ \quad \text{أو} \quad ضَ \frac{م ح}{ط}$$

بجعل $م$ رمزا للمجسم المقابل للحجم $= و عَ ء$

وثانيا الضغوط الامامية فاذا جعل $ضً$ رمزا للضغط المتوسط الواقع على القطع الامامى $اَبً$ تحصل ايضا الشغل الضغوط المذكورة وهو شغل سالب

$$- ضً \frac{م ح}{ط}$$

وثالثا التناقل الذى يكون شغله $م ح (سَ - سً)$ بجعل $سَ$ و $سً$ رمزين لارتفاعى مركزى ثقل القطعين $اَبَ$ و $اً بً$ عن مستو افقى ثابت

ورابعا الاحتكاك وتأثير العناصر بعضها فى بعض فيجعل $- ش$ رمزا للشغل الكلى لهذه القوى المتنوعة فى الزمن $ء$ يحدث

$$ضَ \frac{م ح}{ط} - ضً \frac{م ح}{ط} + م ح (سَ - سً) - ش = ٠$$

ومنها ينتج $\frac{ضَ}{ط} - \frac{ضً}{ط} + (سَ - سً) = \frac{ش}{م ح}$

لكن حيث كان بملاحظة (بند ٤٤)

$$\frac{ضَ}{ط} - \frac{ضً}{ط} + (سَ - سً) - \frac{ل ٤}{ق ط} (و ع + وَ عَ)^{٢} = ٠$$

ينتج من ذلك

$$ش = \frac{ل ٤}{ق ط} (و ع + وَ عَ)^{٢} م ح$$

٥٤ فالكمية $\frac{ل ٤}{ق ط} (و ع + وَ عَ)^{٢}$ أو $\frac{ل ح}{ـ} (و ع + وَ عَ)^{٢}$ هى كما فى (بند ٤١) مفقود الضاغط المنسوب لاحتكاك الانبوبة فى الامتداد $ل$ فحينئذ يكون الشغل $ش$ مساويا الحاصل ضرب مفقود الضاغط المذكور الذى هو عبارة عن ارتفاع فى الثقل $م ح$ للماء المتصرف مدة الزمن الذى حصل فيه الشغل $ش$ المذكور

وبابدال

وبابدال م ح بالكمية ط س ع ى فى مقدار الشغل المتقدّم يكون الشغل المذكور مبيناهكذا

شـ = ط ل ح (و ع + وَ عَ٢) ع ى

اعنى أن الشغل المنسوب لمقاومة الانبوبة ولتأثير عناصر المائع فى بعضها يكون مكافئا الشغل القوّة ط ل ح (و ع + وَ ع) المساوية لمقاومة الانبوبة انظر (بند ٣٩) والواقعة على نقطها فى جهة مضادّة للتحرك سرعة التيار المتوسطة ع

٥٥ اذا تقرّر هذا فلنبحث عن الاحوال التى تكون فيها الانبوبة متغيرة القطر ولنعتبر فى مبدء الامر الحالة التى يكون فيها القطر المذكور متغيرا تغيرا مستمرا بحيث يكون الماء المالئ للانبوبة متحركا دائما على صورة خيوط متوازية تقريبا ولنطبق على الجملة أبَ أبً كما فى (الشكل ٢٣) قاعدة تأثير الشغل مع اعتبار الاحتكاك فنقول

بعد زمن صغير جدّا رمزه ى تكون العناصر التى كانت تشغل المستويين أبَ و أبً موجودة على السطحين حَدَ و حً دً ويكون ازدياد الحدة مساويا لحدة الجزء أبً دً حً ناقصا حدة الجزء أبَ حَ دَ ولنرمز الى مجسم هذين الجزءين المتساويين بالرمز م

ثم الى السرعة المتوسطة للمائع فى المستوى أبَ بالرمز عَ فحدة المائع ابَ حَ دَ لاتكون ½ م عَ٢ بالضبط لانها فى الحقيقة اكبر من ذلك كما يتضح ذلك فى البند الآتى

وبناء على ذلك يوضع لازدياد الحدة هذه الكمية

½ م ت (عً٢ — عَ٢)

فالرمز ت فى هذه الكمية يدل على عدد مبهم اكبر من واحد بيسير وحيث كان الازدياد المذكور مساويا لشغل القوى يحدث كما تقدّم اوّلا أن شغل الضغوط الخلفية يكون

ضَ م ح / ط

وثانيا أن شغل الضغوط الامامية يكون

$$- \text{ضَ}'' \frac{\text{م ح}}{\text{ط}}$$

وثالثا ان شغل التثاقل يكون

$$\text{م ح } (\text{سَ} - \text{سً})$$

ولاجل تحصيل الشغل العنصري يسلم في كل شقة من المائع كالشقة اب أن الاحتكاكات وتأثير العناصر في بعضها تكون دالة للسرعة المتوسطة وع للشقة المذكورة كما اذا كان للانبوبة في جميع طولها قطع واحد فاذن يلزم أن يكون شغل كل شقة سمكها فاى وقطرها قط مبينا بهذه الكمية

$$- \frac{\text{٤ فاى}}{\text{قط}} (\text{و وع} + \text{وَ وع}^2) \text{ م ح}$$

فحينئذ يكون شغل الاحتكاكات وتأثيرات العناصر في بعضها في سائر امتداد الانبوبة من اَبَ الى اًبً

$$- \text{م ح} \int^{\text{ل}} \frac{\text{٤}}{\text{قط}} (\text{و وع} + \text{وَ وع}^2) \text{ فاى}$$

فتكون معادلة تأثير الشغل بعد قسمة جميع حدودها على م ح

$$(\frac{\text{وعً}^2}{\text{٢ ح}} - \frac{\text{وعَ}^2}{\text{٢ ح}}) = \frac{\text{ضَ}}{\text{ط}} - \frac{\text{ضً}}{\text{ط}} + \text{سَ} - \text{سً} - \int^{\text{ل}} \frac{\text{٤}}{\text{قط}} (\text{و وع} + \text{وَ وع}^2) \text{ فاى}$$

وليست معادلة (٢) المتقدمة في (بند ٤٤) الاحالة خصوصية من هذه المعادلة تحصل بجعل وع ثابتة

ولاجل اختصار هذه المعادلة يفرض أن قطر الانبوبة وهو قط دالة معلومة من الطول ي بان يوضع قط = د(ي)

وحيث كان ايضا $\text{وع} = \frac{\text{قطً}^2 \text{ عً}}{\text{قط}^2}$ و $\text{عَ} = \frac{\text{قطً}^2 \text{ وعً}}{\text{قط}^2}$

يكون تكامل معادلة (٦) حينئذ

$$\int \frac{\text{٤}}{\text{قط}} (\text{و} \frac{\text{قطً}^2}{\text{قط}^2} \text{عً} + \text{وَ} \frac{\text{قطً}^4}{\text{قط}^4} \text{وعً}^2) \text{ فاى}$$

أو

$$\text{٤ وقطً}^2 \text{ وعً} \int \frac{\text{فاى}}{\text{قط}^3} + \text{٤ وَ قطً}^4 \text{ وعً}^2 \int \frac{\text{فاى}}{\text{قط}^5}$$

فتؤول معادلة (٦) الى هذه الصورة

$$\text{وعً}^2 [\frac{\text{١}}{\text{٢ ح}} (\text{١} - (\frac{\text{قطً}}{\text{قطَ}})^4) + \text{٤ وَ قطً}^4 \int \frac{\text{فاى}}{\text{قط}^5}] + \text{وعً ٤ وقطً}^2 \int \frac{\text{فاى}}{\text{قط}^3}$$

$$= \frac{\text{ضَ}}{\text{ط}} - \frac{\text{ضً}}{\text{ط}} + \text{سَ} - \text{سً} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad [\text{٧}]$$

التي يدل طرفها الثاني على مفقود الضاغط من ابتداء الجزء من الانبوبة المعتبر

الى

الى انتهائه

٥٦ تطبيق ما تقدّم على انبوبة يكون تغير قطرها مناسبا لتغير طولها كما (شكل ٢٤) ففى هذه الحالة يكون

$$قط = قَط - \frac{قَط - قًط}{ل} ى$$

ولاجل الاختصار يوضع

$$قط = قَط - لَ ى$$

ومنها ينتج فا قط = — لَ فا ى

فاذن يكون $\int \frac{فا ى}{قط^٥} = \frac{١}{لَ} \int_{قَط}^{قًط} - \frac{فا قط}{قط^٥} = \frac{١}{٤ لَ} \left(\frac{١}{قًط^٤} - \frac{١}{قَط^٤} \right)$

$$= \frac{ل}{٤} \frac{١}{قَط - قًط} \left(\frac{١}{قًط^٤} - \frac{١}{قَط^٤} \right) = \frac{ل}{٤ قًط^٤ (قَط - قًط)} \left[١ - \left(\frac{قًط}{قَط} \right)^٤ \right]$$

وينتج ايضا $\int \frac{فا ى}{قط^٣} = \frac{ل}{٢ قًط^٢ (قَط - قًط)} \left[١ - \left(\frac{قًط}{قَط} \right)^٢ \right]$

فاذن تؤول معادلة (٧) الى هذه الصورة

$$عً^٢ \left[\frac{ت}{٢ج} + \frac{وَ ل}{قَط - قًط} \right] \left[١ - \left(\frac{قًط}{قَط} \right)^٤ \right] + عً \frac{٢ و ل}{(قَط - قًط)} \left[١ - \left(\frac{قًط}{قَط} \right)^٢ \right]$$

$$= \frac{ضَ}{ط} - \frac{ضً}{ط} + سَ - سً \quad \ldots\ldots \quad [٨]$$

فاذا كان ل = ١٠٠٠ و قَط ٠٫٠٧ و قًط = ٠٫٠٣ يكون

$\left(\frac{قًط}{قَط} \right) = ٠٫٤٢٩$ و $\left(\frac{قًط}{قَط} \right)^٢ = ٠٫١٨٤$ و $\left(\frac{قًط}{قَط} \right)^٤ = ٠٫٠٣٣٨$

ويكون القطر المتوسط الذى هو قطر قطع الانبوبة من منتصفها

$$\frac{قَط + قًط}{٢} = ٠٫٠٥$$

وليفرض أن السرعة فى قطع منتصف الانبوبة مساوية مترا واحدا فينتج من هذا الفرض أن $عً = \left(\frac{٥}{٣} \right)^٢ = ٢٫٧٧$ و $عً^٢ = ٧٫٦٧٢$

وبابدال الرموز بمقاديرها فى معادلة (٨) وبابدال طرفها الثانى وهو مفقود الضاغط بالحرف ف يحدث

$$٧٫٦٧٢ \left(٠٫٠٥١ ت + \frac{٠٫٢٨}{٠٫٠٤} \right) × ٠٫٩٦٦ + ٢٫٧٧٨ \frac{٠٫٠٤٤٤}{٠٫٠٤} × ٠٫٨١٦ = ف$$

حيث كان حد = ٠٫٠٥١ صغيرا بالنسبة الى $\frac{٢٨}{٤}$ يمكن اهماله

ولاجل مزيد الضبط يفرض أن ن = ١ر١ فيحدث بعد اجراء الحساب

ف = ٥٢٫٢٩ + ٢٫٥١ = ٥٤٫٦٠ م

وبمقابلة هذا الحاصل بالمتقدم فى (بند ٤٤) يشاهد أنه كان يحدث خطأ عظيم لو استبدلنا فى الحسابات الانبوبة المفروضة بانبوبة مساوية لها فى الطول والتصرّف قطرها ٠٫٠٥ اى قطرها المتوسط

وقد يكون الخطأ اقل من المتقدّم اذا فرض فى الانبوبة الفرضية التى قطرها الثابت ٠٫٠٥ أن السرعة فيها مساوية لمتوسط السرعتين المتطرفتين الحاصلتين فى الانبوبة الحقيقية لانه يحدث مما تقدّم أن $ع'' = (\frac{٥}{٣})^٢ = ٢٫٧٧٨$

وكذلك $ع' = (\frac{٣}{٥}) = ٠٫٣٦$ فاذن تكون السرعة المتوسطة ١٫٥٦٩

وبابدال ع بمقدارها فى معادلة (١) يحدث

$ف = ١٠٠٠ \frac{٤}{٠٫٠٥} [٠٫٠٠٠٠٢٢٢ \times ١٫٥٦٩ + ٠٫٠٠٠٢٨ (١٫٥٩٦)^٢]$

أو ف = ٨٠٠٠٠ × ٠٫٠٠٠٧٢٤ = ٥٧٫٩٢٨ م

٥٧ واما الاحوال المختلفة المتعلقة بتغيرات القطع الدفعية فانه يكفى فيها اختصار النتائج المتقدمة ومتى كبر القطع كبرا دفعيا وكان المائع واردا بدون انضمام فى الانبية الامامية كما فى (الشكل ٢٥) فان مفقود الضاغط الناشئ من التغير الدفعى المذكور يبين بواسطة سرعتى الامام والخلف كما تقدّم فى (بند ٢٣) هكذا

$$\frac{(ع' - ع'')^٢}{٢ح}$$

وينبغى أن لا يشتبه عليك فرق توازن العمودين القياسيين المركبين على انبوبة على بعد يسير من خلف التغير ومن امامه بمفقود الضاغط المنسوب للشغل المادى الحادث من التغير السريع للقطع وهذا الفرق هو

$\frac{ع''^٢}{٢ح} - \frac{ع'^٢}{٢ح} + \frac{(ع' - ع'')^٢}{٢ح}$ كما يتتج ذلك من معادلة (بند ٢٣) وهى

$$س' + \frac{ض'}{ط} - (س'' + \frac{ض''}{ط}) = \frac{ع''^٢}{٢ح} - \frac{ع'^٢}{٢ح} + \frac{(ع' - ع'')^٢}{٢ح}$$

٥٨ ومتى صغر القطع صغرا دفعيا من قطر الى آخر اصغر منه ملازما لحالته

فى

في امتداد مساو اقل ماهنالك لهذا القطر مرتين ونصفا كما في (شكل ٢٦)
لزم تطبيق نظرية الموصلات الاسطوانية على ذلك بحسب ماذكر في (بند ٣١)
فيسلم لاجل السهولة فرض تساوى سرعة الخيوط فيتحصل أن مقدار مفقود
الضاغط الحادث من الشغل المادى يكون

$$\frac{(\text{م}\,\overset{\prime}{\text{ع}}-\overset{\prime\prime}{\text{ع}})^{2}}{\text{٢ح}}$$

اوانه يكون بموجب التجربة ٠٫٤٩ $\frac{\overset{\prime\prime}{\text{ع}}^{2}}{\text{٢ح}}$

ويكون فرق توازن العمودين القياسيين الموضوع احدهما خلف التغير
والآخر امامه

$$\text{١٫٤٩}\ \frac{\overset{\prime\prime}{\text{ع}}^{2}}{\text{٢ح}}-\frac{\overset{\prime}{\text{ع}}^{2}}{\text{٢ح}}$$

٥٩ ومتى وجد في داخل الانبوبة منفذ رقيق كما في (شكل ٢٧) كان
مفقود الضاغط الحادث من الشغل المادى

$$\frac{(\text{ع}-\overset{\prime\prime}{\text{ع}})^{2}}{\text{٢ح}}\ \text{أو}\ \frac{\overset{\prime\prime}{\text{ع}}^{2}}{\text{٢ح}}\left(\frac{\overset{\prime\prime}{\text{س}}}{\text{م}\,\text{س}}-\text{١}\right)^{2}$$

بجعل ع رمزا لسرعة العرق المنضم و س رمزا لسعة المنفذ الرقيق
و م رمزا للمكثر ٠٫٦٢ و س″ رمزا لسعة قطع الانبوبة من امام
المنفذ ويكون فرق توازن العمودين القياسيين الموضوع احدهما خلف التغير
والآخر امامه

$$\frac{\overset{\prime\prime}{\text{ع}}^{2}}{\text{٢ح}}-\frac{\overset{\prime}{\text{ع}}^{2}}{\text{٢ح}}+\frac{\overset{\prime\prime}{\text{ع}}^{2}}{\text{٢ح}}\left(\frac{\overset{\prime\prime}{\text{س}}}{\text{م}\,\text{س}}-\text{١}\right)^{2}$$

٦٠ ومتى كانت الانبوبة منتهية بمنفذ صغير لكنه منفرج المدخل
كما في (شكل ٢٨) فان الضاغط المستعمل لازدياد السرعة يكون تقريبا

$$\left(\frac{\text{ع}^{2}}{\text{٢ح}}-\frac{\overset{\prime}{\text{ع}}^{2}}{\text{٢ح}}\right)\ \text{أو}\ \frac{\text{ع}^{2}}{\text{٢ح}}\left[\text{١}-\left(\frac{\text{س}}{\overset{\prime}{\text{س}}}\right)^{2}\right]$$

٦١ واذا كان المنفذ الصغير رقيقا كما في (الشكل ٢٩) فان الضاغط
المستعمل لازدياد السرعة يكون

$$\left(\frac{\text{ع}^{2}}{\text{٢ح}}-\frac{\overset{\prime}{\text{ع}}^{2}}{\text{٢ح}}\right)\text{أو}\ \frac{\text{ع}^{2}}{\text{٢ح}}\left[\text{١}-\left(\frac{\text{م}\,\text{س}}{\overset{\prime}{\text{س}}}\right)^{2}\right]\ \text{أو}\ \frac{\overset{\prime}{\text{ع}}^{2}}{\text{٢ح}}\left[\left(\frac{\overset{\prime}{\text{س}}}{\text{م}\,\text{س}}\right)^{2}-\text{١}\right]$$

٦٢ ولاجل استكمال المباحث المتقدمة ينبغي أن نعتبر الانزوآت اعنى
تغيرات اتجاه الانبوبة فنقول

لا يوجد الآن نظرية كافية لذلك الا انه يفهم بالسهولة انه يحدث من الانزواآت الشديدة مفقود عظيم من الضاغط كما دلت عليه التجربة وينبغى اجتناب هذه الانزواآت فى العمل وقد دلت التجربة ايضا على أن الانزواآت المنحنية مع الاستدارة اعنى التى يكون نصف قطر انحنائها مساويا عشرة امثال قطر الانبوبة لا تحدث الا تأثيرا غير معتبر فيمكن اهماله

٦٣ ولنطبق ما تقدم على مثالين فنقول

اذا علمت انبوبة مركبة من اجزاء متوالية ذات اقطار مختلفة وبها اختناقات دفعية معلومة وعلم ايضا المتصرف الذى يلزم أن يكون متحركا فى سائر امتداد هذه الانبوبة سهل حساب مقدار الضاغط الكلى اللازم لحصول المتصرف المذكور

فينتج لنا اوّلا من معرفة قطر اى قطع هو ومن المتصرف الثابت سرعة المائع فى هذا القطع وكذلك مفقود الضاغط المنسوب للاحتكاك الحادث من جزء الانبوبة المستديم به القطع المذكور فاذا كانت الانبوبة مخروطية على طول معين فانه يسهل حساب مفقود الضاغط المنسوب للاحتكاك فى هذا الطول بواسطة القطرين المتطرفين والسرعة الموجودة فى احدهما وبعد عمل هذا الحساب المتعلق بكل من اجزاء الانبوبة مخروطية كانت أو اسطوانية تجمع المفاقيد الناشئة عن تلك الاجزاء ويضم اليها جميع المفاقيد الحادثة من التغيرات الدفعية المختلفة بموجب الاحوال المقررة فى (بند ٥٧) وما يليه من البنود ثم يضم اليها الارتفاع المنسوب لسرعة الخروج

فاذا علم الضاغط والانبوبة وما بها من تغيرات القطع الدفعية وكان المطلوب معرفة المتصرف فان المسئلة تحل بمعادلة بدرجة ثانية مجهولها سرعة الخروج

وينبغى للقارئ ان يتمرن على مثل المسائل المتقدمة فيشاهد فى الانابيب المعظمة الامتداد التى للمياه فيها سرعة ضعيفة انه لا يحدث من اختناق داخلى او متطرف غير متنقص بكثرة لقطع الموصل الا تأثير ضعيف فى التصرف

الفصل

الفصل العاشر

فى حساب ما يتعلق بتوزيع المياه بواسطة الانابيب

٦٤ يسهل اجراء الحسابات المنسوبة لتحرك المياه فى انابيب التوصيل وان كان لها عدة فروع وعدة حياض صارفة بواسطة جداول المهندس مارى سيما اذا اهملت الضواغط المنسوبة للتغيرات السرعة فان ذلك لا ينشأ عنه فى العادة ضرر وقد اضاف مؤلف الجداول المذكورة اليها وسائل يتوصل بها مع السهولة الى حل عدة مسائل وهى

اولا مسائل تحرك المياه فى انبوبة توصيل قطرها ثابت وليس لها منفذ ما فى امتدادها

فاذا علم المتصرف الثابت والضاغط الكلى وطول انبوبة التوصيل وكان المطلوب القطر فان هذا القطر ينتج من الجداول المتقدمة مع التقريب بمجرد عمل حساب الضاغط على كل متر من الطول

واذا علم المتصرف وطول انبوبة التوصيل وقطرها والارتفاع الذى يلزم أن تكون المياه مرتفعة اليه بالابتداء من اصل انبوبة التوصيل الى منفذ الخروج وكان المطلوب ارتفاع عمود الماء الدال على الضغط الواقع على المائع عند دخوله فى انبوبة التوصيل

فالارتفاع المذكور يكون مساويا للضاغط الكلى المنسوب للاحتكاك زائدا الكمية التى يلزم ان يكون مرتفعا بقدرها

والمتصرفات المتنوعة للمياه مبينة فى جداول المهندس مارى المذكور بكيفيتين الاولى النسبة الى المتر المكعب وكسوره فى كل ثانية والاخرى النسبة الى قيراط السبيل (وقيراط السبيل هو مقياس قديم من مقاييس فرانسا كان مستعملا بها لتوزيع المياه) فيحدث من هذا القيراط فى الدقيقة الواحدة ١٤ ينتا عن كل منها ٤٨ قيراطا مكعبا وذلك يقابل ٠٫٠٠٠٢٢٢١٦٧ م^ك^ فى الثانية الواحدة او ١٣٫٣٣ ليترا فى الدقيقة الواحدة أو ١٩٫١٩٥ م^ك^ فى اليوم الواحد

وثانيا مسئلة توزيع المياه بواسطة انبوبة توصيل قطرها ثابت ومتفرع عنها فى امتدادها مصرفات معينة

فاذا علم قطر وطول ومتصرف جزء ما من الانبوبة محصور بين مصرفين فانه يستخرج من ذلك الضاغط المفقود بالاحتكاك الحاصل فى طول الجزء المذكور وباجراء ذلك على التوالى يحدث توازن العمود القياسى فى كل نقطة من نقط المتصرفات بالنسبة لمستوى التوازن الاعلى لحوض الصرف

ثالثا مسئلة توزيع الماء من انبوبة توصيل طرفاها مركبان على حوضى صرف بحيث يرد اليهما الماء من طرفيها

فاذا علمت انبوبة التوصيل والمتصرفات المتنوعة الحادثة منها فانه يسهل بالاختبار تعيين نقطة افتراق مائى الحوضين فى الانبوب وذلك ببقاء ارتفاع العمود القياسى على حالة واحدة فى هذه النقطة سواء كان ذلك الارتفاع منسوبا لاحد جزءى انبوبة التوصيل اوللآخر وبالتعيين المذكور تؤول المسئلة الى المسئلة المتقدمة

ورابعا مسئلة التوزيع بواسطة انبوب اجزاؤه مختلفة الاقطار

ففى هذه الحالة ينبغى اجراء ما تقدم فى الحالة الثانية على كل قطر بالتوالى

خامسا مسئلة المتصرف الحادث من انبوبة توصيل تأخذ ماءها من انبوبتين اخريين

ففى الاحوال المتنوعة التى ينبغى حلها من هذه المسئلة يجرى الحل بحيث أن ارتفاع العمود القياسى يكون باقيا على حالة واحدة فى الانابيب الثلاثة فى ثلاث نقط قريبة من مجموعها

الفصل الحادى عشر

فى التحرك الدوامى للمياه فى الخلجان المكشوفة

الحالة الاولى وهى حالة التحرك المنتظم

٦٥ التحرك المنتظم ابسط احوال التحرك الدوامى للماء فى خليج مكشوف اى فيه التيار مماس للجو ويحصل ذلك متى كان التيار المعتبر بين حدين معينين

مركبا

مركبا من خيوط متوازية ومستقيمة تقريبا ومندفعة الاجزاء بسرعة ثابتة في امتداد كل من هذه الخيوط وان كانت متغيرة من خيط الى آخر

٦٦ فاذا ضربت السعة ذَ لقطع خيط في سرعته عَ فالحاصل ذَعَ يكون مساويا للمتصرف هَ للخيط المذكور في الثانية الواحدة ويتحصل من المجموع كذَعَ الحادث من جميع خيوط التيار متصرفه هـ في الثانية الواحدة ويتحصل من المجموع كذَ الحادث من سعات قطوع الخيوط القطع ـ الذي هو قطع التيار ويتحصل كذلك من خارج قسمة هـ/ـ اعني المتصرف على القطع السرعة المتوسطة ع وفي حالة التحرك المنتظم تكون الكميتان ـ و ع ثابتتين

٦٧ وينشأ عن القطع العرضي لتيار خيوطه متوازية تقريبا مستقيم افقي ذذ كما في (شكل ٣٠) يكون عليه المائع مماسا للجو وذلك هو نتيجة القاعدة المذكورة في (بند ٥)

٦٨ فاذا كان القطع المذكور نصفين متماثلين فان الخيط و الواقع في منتصف افقي ذذ يكون له اعظم سرعة ولنرمز لها بالرمز ع ونطلق عليها اسم سرعة السطح فاذا كان القطع لا يختلف عن نصف دائرة الا بيسير فانه يكون للخيوط القريبة من المجرى سرعة واحدة تقريبا تعرف باسم سرعة القاع ولنرمز لها بالرمز قع وقد شرع المهندس دوبوا في عمل تجاريب لتعيين الارتباطات الحاصلة بين السرع ع و ع و قع وماشاهده من الحوادث مبين تقريبا بالمعادلات الآتية المنسوب اولاها للمهندس بروني وهي

$$ع = \frac{ع(ع + ٢٫٧٣)}{ع + ٣٫١٥} \quad و \quad ع = \frac{١}{٢}(ع + قع)$$

ومنها ينتج ع = د (قع)

فاذا جعل في المعادلة الاولى للسرعة ع المقادير

٠٫٥م و ١م و ٥٫١م

نتج للكمية ع/ع المقادير ٠٫٧٩ ٠٫٨١ ٠٫٨٣

ومن ذلك ينتج طريقة تقريبية لعيار تيار وذلك بان نعين سرعة التيار المذكور

بواسطة طاف على سطحه فى منتصفه

٦٩ وليست المعادلات المتقدمة مطردة فى جميع التيارات لعدم تعلقها بصورة الخليج اعنى انها وان وافقت خليجا ذا قطع مستدير لا توافق خليجا ذا عرض عظيم وعمق ثابت ولنذكر ايضاح ذلك فنقول من جملة الحواصل التجريبية المعلومة نتائج تجربة المهندس دوفوتين عندما كان يجرى العملية فى نهر الرين بواسطة طاحونة والتان وهى آلة مشابهة لطاحونة هواء صغيرة بها يمكن تعيين السرعة فى نقطة ما من التيار وهو

عمق س	سرع تجريبيه	سرع محسوبة
م ٠ر٠٠	م ١ر٢٢٦	م ١ر٢٢٦
٠ر٢٠	١ر٢١٨	١ر٢١٩
٠ر٤٠	١ر١٩٨	١ر١٩٨
٠ر٦٠	١ر١٦٧	١ر١٦٣
٠ر٨٠	١ر١٢٥	١ر١١٤
١ر٠٠	١ر٠٥٧	١ر٠٥١
١ر٢٠	٠ر٩٠٥	٠ر٩٧٤
١ر٤٠	٠ر٨٨٠	٠ر٨٨٣
١ر٥٠	٠٠٠٠٠٠	٠ر٨٣٢

هذا الجدول يدل على السرع المعينة بالتجربة فى اعماق متنوعة على راسى واحد فى محل فيه مقدار العمق الكلى ١ر٥٠ م وحيث كانت الفروق الثانية لحدود الخانة الثانية ثابتة تقريبا امكن بيان السرعة ع بداله بدرجة ثانية للعمق س ويوضح ذلك مقادير الخانة الثالثة المحسوبة بموجب معادلة

ع = ١ر٢٢٦ − ٠ر١٧٥ س٢

فان المقادير المذكورة مساوية تقريبا لمقادير الخانة الثانية والارتباط البسيط المبين بالمعادلة المتقدمة يدل على الكيفية التى ينبغى استعمالها فى الوصول

الى

الى البحث عن قانون تأثير الخيوط فى بعضها ولنقتصر على التنبيه على ان سرعة السطح وهى ٢٢٦ ر١م وسرعة القاع وهى ٨٣٢ ر٠م لا يحققان معادلات (بند ٦٨) التى لا يعتمد عليها اعتمادا تاما

٧٠ قد اجرى المهندسان دبوا وبرونى تطبيق التحرك المنتظم للمياه فى الخلجان المكشوفة على القواعد المحققة بالتجربة فى الانابيب الاسطوانية ففرض المهندس برونى حينئذ أن مقاومة الخليج للمائع بين حدين معينين مناسبة لسطح تماس التيار بمرقده وللدالة ه ع + هَ ع^2 للسرعة المتوسطة فاذا كان هذا الفرض مسلما فان معادلة التحرك المنتظم يسهل تحصيلها باجراء ما تقدم فى (بند ٣٩) وليكن جزء من المائع المتحرك كما فى (شكل ٣١) محصورا فى وقت مّا بين المستويين اَبَ و اً بً ثم انتقل بعد زمن صغير جدا بين السطحين حَ دَ و حً دً وحيث كان تحرك كل جزء منتظما كان المجموع الجبرى لمساقط القوى الخارجة على محور مّا معدوما وحيث كان الضغطان الواقعان على قطعى الخلف والامام وهما اَبَ و اً بً متساويين ومتضادين بالبداهة لا يعتبر الا تأثير التثاقل ومقاومة السطح المغمور

ونجعل ط رمزا الثقل كل متر مكعب من المائع و ـ رمزا للسعة الثابتة لقطع التيار و ل رمزا للطول اَاً و س رمزا الفرق توازنى النقطتين اَ و اً يوجدان ثقل الجملة المادية وهى اَاً بَ بً يكون ط ـ ل وأن هذه القوة الرأسية بسقوطها على اَاً تؤول الى ط ـ س واذا كان ح رمزا للمحيط المغمور من قطع الخليج فان تأثير المرقد على المائع فى الجهة المضادة للتحرك يكون بموجب فرض المهندس برونى مبينا بالكمية ل ح (ه ع + هَ ع)^2 فحينئذ يتحصل أيا ما كان تأثير الخيوط فى بعضها

$$ط ـ س ـ ل ح (ه ع + هَ ع^2) = ٠ \qquad (١)$$

ولاجل الاختصار نجعل $\frac{ه}{ط}$ = و و $\frac{هَ}{ط}$ = وَ ولنضع $\frac{س}{ل}$ = ىـ و ىـ كمية تعرف باسم انحدار كل متر من الطول و $\frac{ـ}{ح}$ = نق و نق

كمية تعرف باسم نصف القطر المتوسط

(وهـذه الكمية تؤول الى ربع القطر متى كان قطع التيار نصف دائرة) فتؤول معادلة (١) حينئذ الى نق ر = و وع + وَ وع٢ ‥ (٢)

٧١ ولنذكر فى البند الآتى مسئلة مماثلة لهذه المسئلة الا أنها اقل بساطة منها ونستعمل فى ذلك قضية تأثير الشغل فيجب علينا حينئذ ان لاندخل فى الحسابات شغل مقاومة المرقد فقط بل ندخل فيها ايضا شغل تأثير عناصر المائع فى بعضها ونبحث عن تعيين مجموع هذين الشغلين المقاومين فى حالة التحرك المنتظم الذى ذكرناه آنفا ونجعل ش رمزا لمجموع الشغل المذكور الحادث فى الزمن ـــ وحيث كان ازدياد الحدة للجملة أبَ أَبٌ مدة الزمن ـــ معدوما يكون المجموع الجبرى لشغل سائر القوى معدوما ايضا وحيث ان شغل الانضغاطات الخلفية مساو ومضاد لشغل الانضغاطات الامامية دون العلامة وشغل التثاقل مساو للثقل المشترك بين جزئى المائع وهما أبَ دَحَ و أَبٌ دٌحٌ مضروبا فى فرق توازن مركزى ثقل الجزئين المذكورين اعنى أن يكون طـ ـ وعـ مضروبا فى س يلزم أن نضع طـ ـ وعـ س + ش = ٠ وحيث كان يحدث من معادلة (٢) التى فيها ر = س/ل و نق = ح/ـ

سـ = لـع (و وع + وَ وع٢)

ينتج

ش = طـ لـ ع (و وعَ + وَ وع٢) وعـ

اعنى أن الشغل المطلوب يكون مكافئا الشغل قوة قدرها طـ لـ ع (و وع + وَ وع٢) ناشئة من سطح المرقد ولنقط وقوعها السرعة وع المتوسطة للتيار

٧٢ لو كانت قطوع التيار انصاف دوائر لاختلف المكرران و و وَ قليلا عن المقادير الموافقة لانابيب التوصيل لكن لاجل توافق معادلة (٢) مع تجاريب عديدة حاصلة فى شأن الخلجان الصناعية او الطبيعية رأى المهندس

روني

بروني انه يلزم جعل و = ٠٫٠٠٠٠٤٤ و وَ = ٠٫٠٠٠٠٣٠٩

ثم ان المهندس ايتلوين بعد عمل عدة تجاريب وضع المقدارين

و = ٠٫٠٠٠٠٢٤ و وَ = ٠٫٠٠٠٠٣٦٦ اللذين يحدثان كالمتقدمين للكمية وع + وَع٢ مقدارا واحدا حين تكون ع = ٠٫٣٥

ويزيدان $\frac{1}{10}$ تقريبا حين تكون ع = ١

٧٣ *تطبيق على ما تقدم*

اذا كان المطلوب تصريف مترين مكعبين من الماء في الثانية الواحدة على عمق منتظم قدره ٠٫٧٠م في خليج طوله ١٥٠٠٠م وعرضه ٥م بين حائطين رأسيين فما يكون الانحدار الكلي سـ١ للخليج المذكور وحله ان يقال

ب = ٥ × ٠٫٨٠ = ٤ و ح = ٦٫٦٠ و نق = $\frac{ب}{ح}$ = ٠٫٦٠٦

و ع = $\frac{هـ}{ب}$ = $\frac{٢}{٤}$ = ٠٫٥٠ وع + وَع٢ = ٠٫٠٠٠٠١٠٤

و ر = $\frac{٠٫٠٠٠١٠٤}{٠٫٦٠٦}$ = ٠٫٠٠٠١٧٢ و سـ١ = ١٥٠٠٠م × ر = ٢٫٥٨م

فاذا اريد ابقاء القطع على حاله وتضعيف التصرف فتتضاعف السرعة فان الانحدار ر في كل متر يكون ٠٫٠٠٠٤٩٠ فيكون الانحدار الكلي

سـ١ = ٧٫٣٣م

وبهذا المثال يعلم ان من المهم عدم تصريف الماء بسرعة كبيرة متى اريد توفير انحداره

٧٤ *تطبيق ثاني على ما تقدم*

ليفرض ان لمرقد تيار من الماء قطعا عرضيا ثابتا مركبا من خط منحن أو منكسر ل ك م منتهيا بمستقيمين مائلين م ن و ل ن كما في (شكل ٣٢) وان الانحدار الطولي ر لهذا المرقد يكون منتظما في طول عظيم وليكن هـ الذي هو متصرف التيار معلوما ومنتظم التحرك والمطلوب في القطع العرضي وضع خط التوازن ن ن الذي يطلق على ارتفاعه فوق قاع الخليج اسم ارتفاع حالة الانتظام وليكن

الطول ل م = لَ

والمحيط ل ك م = حَ

العرضي ل ك م ل = بَ

وليكن ه و هَ ظلى الزاويتين الحادثتين من الخطين ل ن و م ن مع المستقيم الرأسى و د العمق المجهول م ق للماء فوق ل م فيستنتج من ذلك ان سعة القطع

$$\text{ب} = \text{بَ} + \text{د} \,[\text{لَ} + \tfrac{1}{2}(\text{ه} + \text{هَ})\,\text{د}]$$

والمحيط المغمور

$$\text{ح} = \text{حَ} + \text{د}\,(\sqrt{1+\text{ه}^2} + \sqrt{1+\text{هَ}^2})$$

وباعتبار المعادلات

$$\text{نق} = \frac{\text{ع}}{\text{ح}} \quad \text{و} \quad \text{وع} = \frac{\text{ث}}{\text{ع}} \quad \text{و} \quad \text{نق}\ \text{ر} = \text{وع} + \text{وَع}^2$$

مع المعادلتين المتقدمتين يحدث خمس معادلات لاجل تعيين المجاهيل نق و وع و ب و ح ولنمثل لذلك بنهير توجد به كميات المعالم الآتية فنضع ل = ٧٠ و حَ = ٧٫٧٠ و بَ = ٦٠ و ه = هَ = ٢ و ر = ٠٫٠٠٠١١٥ و ه = ٤٠٫٠ ونجعل د = ٠ أو د = ١٫٠ أو د = ٢٫٠ على التوالى يوجد ان المقدار الاخير محقق تقريبا الشروط حالة الانتظام لانه يحدث منه

ب = ٧٤٫٨ و ح = ٩٦٫٠ و نق = ١٫٠٤٤ و نق ر = ٠٫٠٠٠١٢٠

وع = ٠٫٥٤ و وع + وَع² = ٠٫٠٠٠١١٩٧

فتختصر الحسابات المشابهة للمثال المتقدم بواسطة جدول تحتوى خانة منه على المقادير المتوالية للسرعة المتوسطة وع واخرى على المقادير المقابلة للدالة وع + وَع²

٧٥ ويدل عدم ضبط مقادير المكررين و و وَ فى التيار المكشوف ومقابلة مقاديرهما بمقادير المكررين الموافقين للانابيب والتيار مكشوف قطعه نصف دائرة على ان الفرض المذكور فى مبدأ (بند ٧٠) غير مطرد لان من المعلوم ان مقاومة المرقد الناشئة عن متر مربع من سطحه تكون دالة بسيطة لسرعة الخيوط القريبة منه جدا اعنى للسرعة القاعية فيلزم حينئذ أن تكون هذه المقاومة دالة للسرعة المتوسطة دون غيرها لكن

لاتتعلق مقاومة المرقد الا بهذه السرعة المتوسطة وحيث انه لاوجود لذلك فلا تستعمل معادلة

نق ر = و ع + وَ ع^٢

الا مع الاحتراس اى فى احوال مشابهة للاحوال المستعملة فى تعيين مقدارى المكررين و و وَ

ولنوضح ماتقدم بمثال يتبين منه خطأ استعمال هذه المعادلة متى كان بالقطع العرضى للمرقد زوايا بارزة جدا بالصورة التى فى (شكل ٣٣)

فنفرض ان انحدار المرقد على كل متر ر = ٠٫٠٠٠٥

والمطلوب بواسطة معادلة نق ر = و ع + وَ ع^٢ ايجاد السرعة المتوسطة ثم المتصرف فيتحصل من الشكل ان السعة

ـ = ١٥ × ٠٫٣٥ + ١٫٧٠ + ١٦ + ١٫٦٠ = ٢٤٫٥٥

وان المحيط ح = ٣٠ + ٢٫٥٠ + ١٠ + ٢٫٥٦ = ٤٥٫٠٦

ومن هنا يحدث نق = ـ/ح = ٢٤٫٥٥/٤٥٫٦ = ٠٫٥٤٤٨

وبناء عليه يكون نق ر = ٠٫٠٠٠٢٧٢٤

وبوضع هذا المقدار فى معادلة (٢) يحدث

٢٧٢٫٤ = ٢٤ ع + ٣٦٦ ع^٢ ومنها ينتج ع = ٠٫٨٣١

فيكون المتصرف هـ = ـ ع = ٢٤٫٥٥ × ٠٫٨٣١ =

= ٢٠٫٤٠ م^٣

فاذا فرض الآن انقسام التيار الى قسمين منفصلين عن بعضهما بحاجز رقيق رأسى ارتفاعه ٠٫١٠ م موضوع على الضلع ب من الزاوية البارزة فانه لا يحدث من ذلك تأثير معتبر فى سرعة الماء وعلى كل حال فلا ينشأ عن الحاجز المذكور الا انتقاص السرعة ولنحسب حينئذ متصرف كل تيار جزئى على حدته فنقول

يتحصل اولا من التيار المحصور بين ا و ب

ـَ = ٥٫٢٥ و حَ = ١٠٫٣٠ و نقَ = ٠٫١٧٤٤ و نقَ ر = ٠٫٠٠٠٠٨٧٢

وعَ = ٠,٤٥٦ و هَ = ٢,٣٩

وثانيا من التيار المحصور بين ب و د

سً = ١٩,٣٠ و حً = ١٥,١٦ و نقً = ١,٢٧٣ و نقًس = ٠,٠٠٠٦٣٦٥

و عً = ١,٢٨٧ و هً = ٢٤,٨٤

فاذن يكون المتصرف الكلى لمجموع التيارين الجزءين هَ + هً = ٢٧,٢٣ م لٓ وامامجرد استعمال المعادلة فانه لايحدث منه الا ٢٠,٤٠ م لٓ أو ٠,٧٥ من الحاصل الثانى الاقرب للحقيقة بلاشك

وهذا المثال يدل على انه لا ينبغى استعمال المعادلة المذكورة الا فى احوال مشابهة للتى عين بها المكرران و و وَ

٧٦ وقد يحدث فى بعض مراقد النهيرات أو الخلجان فى فصل الصيف حشايش كثيرة تنقص القطع الحقيقى للتيار وتزيد المقاومات من جهة اخرى وينتج من ذلك ارتفاع سطح تيار الماء وان لم يتزايد المتصرف بل ربما نقص المتصرف المذكور فى هذا الفصل عن غيره وليس هنالك معاليم لاجل تقويم تأثير الحشايش الذى يمكن ان يكون نافعا فى تيارات المياه المعدّة للسفن لان العمق يزيد بها وان كان ذلك يضر بخلجان التصرف فى الطواحين من حيث انه ينقص سقوط التيارات المائية

الفصل الثانى عشر

فى التحرك الدوامى للمياه فى الخلجان المكشوفة

٧٧ وليس التحرك المنتظم للماء ممكنا دائما فى خليج ولو كان وارده ومتصرفه ثابتين

فلا يوجد انتظام تحرك الخيوط اذا تغير القطع العرضى للخليج اوتغير الانحدار أو كان هذا الانحدار معدوما او كان حاصلا فى جهة مضادة للتحرك (وحينئذ يكون معروفا باسم الانحدار المعكوس

وقد يكون هذا الانتظام غير ممكن ايضا اذا وجد فى خليج قطعه وانحداره

ثابتين

قاتين سدا ومانع ما يجبر الماء على ان يرتفع من الجهة الخلفية للمانع المذكور الى ارتفاع يكون مجاوزا لارتفاعه فى حالة الانتظام انظر (بند ٧٢) فالتحرك فى جميع الفروض المذكورة متغير لكن ربما كان دواميا

ولنتكلم على التحرك المذكور فنسلم ان التيار مركب من خيوط متوازية تقريبا وعلى ذلك لا تعتبر الحالة التى يكون للماء فيها دوامات واذن لا يحصل تغير دفعى فى صورة القطع

٧٨ وليكن كما فى (شكل ٣٤) فى مثل هذا التيار جزء محصور فى وقت ما بين مستويين أبَ و أبً يمكن اعتبارهما عمودين على محور خيط داخلى وعلى المحاور الاخر تقريبا اى انهما رأسيان تقريبا لانه فى الاحوال الاعتيادية يكون انحدار السطح آآً بالنسبة للافق فى الغالب اقل من ٠٫٠٠٠١ م وينـدر تجاوزه ٠٫٠٠٢ م فى كل متر من الطول اذا تقرر هذا فلنطبق على الجملة المادية المذكورة قضية تأثير شغل القوى

فبعد زمن يسير ـ تنحصر هذه الجملة بين السطحين حَدَ و حًدً فيكون ازدياد الحدة مساويا لحدة المائع الذى ينحصر فى آخر الزمن ـ بين أبً و حًدً ناقصة الحدة التى كانت فى مبدء هذا الزمن للمائع المحصور بين أبَ و حَدَ وليكن لَلً خيطا وضعه كَكً بعد الزمن ـ و ﺿَ و عَ قطعه وسرعته فى النقطة لَ و ﺿً و عً الكميتين المشابهتين للاوليين فى النقطة لً فيكون ﺿًعً ـ حجم الجزء لًكً ومجسمه طـ/ج ﺿًعً وحدته طـ/٢ج ﺿًعً٣ فحينئذ تكون حدة المائع المحصور بين أبً و حًدً

$$\frac{\text{ط}}{\text{٢ج}}\ \text{ك}\ \text{ﺿًعً}^{٣}$$

فاذا كان للخيوط المارة بالمستوى أبً سرعة واحدة عً فان المجموع كﺿًعً٣ يكون ـًعً٣ بجعل ـً رمزا لسعة قطع التيار فى المستوى أبً فسرع الخيوط فى الحقيقة كلها متغايرة وبناء عليه اذا ابدلنا عً بالسرعة وًعً المتوسطة فى المجموع كﺿًعً٣ حدثت الكمية ـًوًعً٣ اقل

من المجموع المذكور

وقد برهن على صحة هذا التنبيه المستعمل سابقا في (بند ٣٢ وبند ٥٥) المهندس بونسليه (في تجاريبه) بنحو ماسنذكره فنقول

أن السرعة ع″ المتغيرة في القطع ٮ″ تكون تارة اكبر من السرعة وع″ المتوسطة وتارة اصغر منها وليكن على العموم ع″ = وع″ + سع

فيكون الفرق المتغير الحادث في اجزاء القطع المتنوعة تارة موجبا وتارة سالبا بخلاف السرعتين ع″ و وع″ فانهما دائما موجبتان وحيث كانت وع″ متوسطة مقادير ع″ ينتج من ذلك أن السرعة المتوسطة بين مقادير سع وهي كض سع / كض تنعدم لانه يستخرج من توسط وع″ أن

كضع″ = وع″كض″

وبمقتضى المعادلة المتقدمة يكون

كضع″ = وع″كض″ + كض″ سع

وبناء على ذلك يكون كض″ سع = ٠

اذا تقرر هذا وابدل ع″ بمقدارها وع″ + سع يحدث

كض″ع″٣ = كض″(وع″٣ + ٣ وع″٢ سع + ٣ وع″ سع٢ + سع٣)

وحيث أن كض وع″٣ = ـوع″٣ و كض″٣وع″٢سع = ٣وع″٢كض″سع = ٠

يكون كض″ع″٣ = ـوع″٣ + كسع٢ (٣ وع″ + سع) ض″

وحيث كان المضروب ٣ وع″ + سع المساوي ٢ وع″ + ع″ موجبا دائما ينتج من ذلك أن

كض″ع″٣ > ـوع″٣

فيوضع حينئذ كض″ع″٣ = ضـوع″٣ بجعل ض رمز المكرر تصحيح مقداره اكبر من واحد

وبناء عليه تكون حدة المائع المحصور بين أب″ و حد″ مبينة بالكمية ضط‍ـ / ح٢ ـوع″٣ او بالكمية ضطهـ / ح٢ وع″٢ بابدال ـوع″ بمقداره هـ

وحدة المائع المحصور بين أبَ و حدَ مبينة بواسطة السرعة وعَ المتوسطة

في المستوى أَبَ بالكمية

$$\frac{\text{ق ط هـ}}{\text{٢ ج}}\ \text{عَ}^{2}$$

فاذن يكون الطرف الاول من معادلة تأثير الشغل

$$\frac{\text{ق ط هـ}}{\text{٢ ج}}\left(\text{عً}^{2} - \text{عَ}^{2}\right)$$

ثم ان القوى التي يدخل شغلها في الطرف الثاني من المعادلة المذكورة هي.

اولا الانضغاطات الخلفية اى الحادثة من جهة الخلف ولتحصيلها يجعل فَ البعد أَلَ للعنصر لَ عن سطح التيار فالضغط الحاصل على السعة قَ يكون قَ (ضـ + ط فَ) بجعل ضـ رمزا الضغط الجوّ على كل متر مربع وشغله في الزمن هـ

$$(\text{ضـ} + \text{ط فَ})\ \text{قَ عَ هـ}$$

فحينئذ يكون الشغل الكلي للانضغاطات الخلفية

$$\text{ضـ} \sum \text{قَ عَ هـ} + \text{ط} \sum \text{قَ عَ هـ فَ}$$

فليست الكمية $\sum$ قَ عَ هـ في هذه الكمية الا الجم هـ المتصرف مدة الزمن هـ ومما يسهل مشاهدته بواسطة قضية القيم انه اذا جعل ث رمزا الثقل المائع أَبَ دَحَ و صَ رمزا البعد مركز ثقله عن سطح التيار كان مجموع ط $\sum$ قَ عَ هـ فَ مساويا ث صَ فاذن يكون شغل الانضغاطات الحاصلة على الجهة الخلفية

$$\text{ضـ هـ} + \text{ث صَ}$$

وثانيا الانضغاطات الامامية وشغلها السالب يبين ايضا بالكمية

— ضـ هـ — ث صً بالتنبيه على أن ثقل المائع أً بً دً حً هو ايضا ث وأن صً بعد مركز ثقله عن سطح المائع

وثالثا التباقل وشغله الحاصل على جميع الجملة مساو للثقل ث مضروبا في الارتفاع الذي يكون مركز ثقل جً منخفضا به عن جَ وليكن سـ انحطاط أً عن أَ فيكون مقدار الشغل المطلوب مبينا هكذا

$$\text{ث}\,(\text{سـ} + \text{صً} - \text{صَ})$$

ورابعا مقاومة المرقد وتأثيرات عناصر المائع في بعضها ولنفرض في التحرك

الدوامى الحاصل على صورة خيوط متوازية تقريبا ان سرع الخيوط المارة بقطع ما تتغير من خيط الى آخر بحسب قوانين التحرك المنتظم ومن ذلك ينتج انا اذا اعتبرنا أ ب شقة رقيقة جدا من التيار سمكها فاى ومحيطها ح وسرعتها المتوسطة ع كان شغل مقاومة المرقد على هذه الشقة وتأثيرات عناصر المائع المكون لها مدة الزمن ـــ بمقتضى التنبيه المذكور فى (بند ٧١)

ـــ ط فاى ح (وع + وَع٢) ع ـــ أو انه يكون بابدال ع الاخيرة بمقدارها هـ/ـــ الذى فيه ـــ رمز لقطع الشقة أ ب

ـــ ط هـ ـــ ح/ـــ (وع + وَع٢) فاى

فحينئذ يكون شغل مقاومة المرقد وتأثيرات العناصر فى بعضها فى سائر امتداد الجملة المذكورة مدة الزمن ـــ

ـــ ط هـ ـــ كا ح/ـــ (وع + وَع٢) فاى

وهو تكامل يؤخذ فى جميع الشقق من أَ ب الى أً ب

وبضم جميع الاشغال الى بعضها لاجل تطبيق قضية تأثير الشغل على ذلك يشاهد أن الحاصلين ش صَ و ش صً ينعدمان فاذن يحدث

ة ط هـ ـــ/٢ ج (عً٢ ـــ عَ٢) = ش س ـــ ط هـ ـــ كا ح/ـــ (وع + وَع٢) فاى

وحيث أن ش الذى هو ثقل متصرف التيار مدة الزمن ـــ يساوى ط هـ ـــ تؤول هذه المعادلة الى

س = ة (عً٢ ـــ عَ٢)/٢ ج + كا ح/ـــ (وع + وَع٢) فاى ٠٠٠٠٠ (٣)

وتدل هذه المعادلة المشابهة لمعادلة (٦) المذكورة فى (بند ٥٥) على أن الانحدار س الكلى للسطح من أَ الى أً يتركب من جزءين احدهما مساو لازدياد ارتفاع السرعة المتوسطة ماعدا مكرر التصحيح ة وثانيهما منسوب للمقاومات ومبين بالتكامل المأخوذ فى سائر الامتداد من أَ الى أً

٧٩ فد تغير السرعة المتوسطة فى الخلجان والانابيب يكون صغيرا جدا فى العادة ومن ذلك لا يكون للعملية عظيم نفع فى تعيين المكرر ة على انه

لا

لايمكن الآن تحصيله مع الضبط بمعارفنا وكان المهندس كوريوليس اوّل من بحث عن تعيين مكرّر التصحيح المذكور فقدره بنحو ١٦ر١ تقريبا بفرضه دائماً أن تكون السرعة سع للخيوط على امتداد المرقد $\frac{٧}{١٠٦}$ من السرعة ع لمنتصف سطح التيار

ولما سلم المهندس ووتيه أن سرعة القاع متغيرة وانها فى كل نقطة فى نسبة ثابتة مع سرعة السطح المأخوذ معها على رأسى واحد وجد أن المكرر ن يتغير ويساوى ٠٣ر١ متى كانت السرعة المتوسطة ٥٠ر١م ويساوى ٠١ر١ متى كانت هذه السرعة ٢٥ر٠م

ويمكن بدون ضرر جعل ن = ١٠ر١ وبالنظر الى صغر الكمية الحادثة من المكرر المذكور يكون الخطأ الذى يمكن حصوله فى هذا الشأن اقل خطرا من الخطأ الحادث من عدم صحة المكررين و و وَ كما تقدم فى (بند ٧٥)

٨٠ يمكن استعمال معادلة (٣) المذكورة فى (بند ٧٨) فى حل مسائل نذكرها فنقول

المسئلة الاولى

اذا علم متصرف من الماء هـ يتحرك تحركا دواميا فى خليج اَبَ اًبً كما فى (الشكل ٣٥) وامكن تعيين ما يراد من القطوع العرضية من التيار وكان المطلوب حساب الانحدار الكلى سـ للسطح من النقطة اَ المعلومة من هذا السطح الى النقطة اً الموجودة على بعد معلوم من النقطة الاولى يقال يحدث من سعتى القطعين اَبَ و اًبً المتطرفين ومن المتصرف هـ السرعتان وَعَ و وًعً وحينئذ فالصعوبة انما هى فى عمل حساب التكامل كا $\frac{ح}{ب}$ (وع + وَعَ^{٢}) قا ى فيتوصل الى ذلك بقانون المهندس سامسون بان يقسم الطول اَ اً الى عدد مزدوج من الاجزاء المتساوية ويؤخذ من كل نقطة من نقط التقسيم قطع عرضى تحسب له الكميات ح و ب و ع ثم $\frac{ح}{ب}$ (وع + وَعَ^{٢})

وليكن ن العدد المزدوج للاجزاء المذكورة و صـ و صـ$_١$ و صـ$_٢$ ..... صـ$_ن$

مقادير الدالة ح/ـ (وع + وَع٢) التى عددها ن + ١ الحادثة من القطوع المتساوية الابعاد التى من جملتها القطعان اَبَ و اً بً المتطرفان ولنكن ل رمزا الى الطول اَاً فيحدث

كا ح/ـ (وع + وَع٢) فاى = ل/٣ن (صـ + ٤ صـ١ + ٢ صـ٢ + ٤ صـ٣ + ... + ٤ صـن-١ + صـن)

وبهذا تستنتج س

فاذا كانت القطوع العرضية معلومة لكن ليست على ابعاد متساوية من بعضها فانه يمكن بين قطعين متواليين ادخال قطع متوسط فرضى ثم يجرى قانون المهندس سامسون على كل مسافة بين قطعين معلومين

المسئلة الثانية

٨١ اذا علم الطول اَاً لتيار من الماء والانحدار الكلى س للسطح او عدد كاف من القطوع العرضية للتيار المذكور وكان المطلوب ايجاد المتصرف هـ فى الثانية الواحدة يقال

يمكن ابدال وع بالكمية هـ/ح فى معادلة (٣) فحينئذ يحدث

س = ن هـ٢/٢ج (١/حَ٢ − ١/حً٢) + وهـ كا ح/ـ٢ فاى + وَهـ كا ح/ـ٣ فاى

فالانحدار الكلى س وقطعا حَ و حً معلومة فى هذه المعادلة ويمكن حساب التكاملين

كا ح/ـ٢ فاى و كا ح/ـ٣ فاى

حسابا تقريبيا بواسطة قانون سامسون واذن فلا يبقى علينا الا المجهول هـ الذى يعلم من معادلة بدرجة ثانية

تنبيه

يندر اشتغال المهندسين بالمسئلتين المتقدمتين والاولى فى الحالة الاولى تعيين س بعملية التوازن وتعيين هـ بالمعايرة فى الحالة الثانية

واما

واما المسئلة الآتية فانها كثيرة الوقوع فى العمل

المسئلة الثالثة

٨٣ اذا علم الجزء بَ بً من مرقد تيار من الماء اى سائر الابعاد الطولية والعرضية التى تعين صورته ووضعه بالنسبة للافق (وهى معلومات ناتجة من عملية توازن فى طول المرقد وعرضه) وعلم كذلك المتصرف هـ للتيار فى حالة دوام التحرك وعلمت ايضا النقطة اَ من سطح الماء فى احد القطعين المتطرفين وكان المطلوب تعيين النقطة اً من هذا السطح فى الطرف الآخر

تختصر هذه المسئلة فى مبدء الامر بان نفرض ان مرقد تيار الماء منشورى بحيث تكون اولا قطوعه العرضية ثابتة الصورة ماعدا الوضع المتغير لخط سطح الماء

وثانيا يكون للاضلاع الممتدة من قطع الى آخر منها بين النقط المتناظرة انحدار منتظم فى كل متر نرمز له بالحرف ر فاذا رسم خط افقى ل م كما فى (الشكل ٣٦) له وضع واحد فى جميع القطوع فان المسئلة تؤول الى البحث عن ايجاد الارتفاع اً لً للماء فوق الافقى الثابت من القطع اً بً

وليكن ى فى قطع مّا اب متوسط بين القطعين اَ بَ و اً بً رمزا للارتفاع ال الذى هو ارتفاع خط الماء فوق الافقى ل م فى القطع المذكور فيلزم تحويل معادلة (٣) الى ارتباط بين المتغير ى والبعد ي الكائن بين ا و اَ أو بين ل و لَ ولذلك ننبه على أن معادلة (٣) تجرى فى جزء مّا من التيار كالجزء اا المبين بالرمز فاي وفى هذه الحالة يؤول س الى فاس

و ع٢ – وَ ع٢ على ٢ح الى فا و ع٢ على ٢ح أو و ع فا و ع على ح ويؤول تكامل معادلة (٣) الى ط على ح (و ع + وَ ع٢) فاي فحينئذ يحدث

فاس = ى و ع فا و ع على ح + ط على ح (و ع + وَ ع٢) فاي ..... (٤)

فاذا رسم الآن من النقطة ا الخط اح موازيا للضلع لَ لً من المرقد والافقى اهـ حدث بناء على أن هـح رأسى تقريبا

اهـ = فاسـ و اع = فاد و اح = فای و هـ ح = ر × اح
ومنها يحدث

فاسـ + فاد = ر فاى . . . . (٥)

وحيث أن السرعة وع متعلقة بالقطع المتعلق بالكمية د وبالصورة المعلومة لقطع المرقد تكون وع دالة للمتغير د فحينئذ ينتج وع ـ = هـ
ومنها يحدث ـفاوع + فاـ = ٠
أو فاوع = ـ وع/ـ فا ـ

وليكن ـ رمز العرض ﻫ من توازن الماء فى القطع اب فيكون
فاـ = ـ فاد
فحينئذ يكون فاوع = ـ وع ـ/ـ فاد

وبابدال فاوع و فاسـ بمقداريهما المتقدمين فى معادلة (٤) يحدث
ر فاى ـ فاد = ـ ﻫ (وع^٢ ـ/ح ـ) فاد + ح/ـ (وع + وَع^٢) فاى
ومنها ينتج

فاى = (١ ـ ﻫ وع^٢ ـ/ح ـ) / (ر ـ ح/ـ (وع + وع^٢)) فاد . . . . . (٦)

فيحدث من هذه المعادلة بواسطة المتغير د الميل فاد/فاى لسطح الماء فى النقطة ا بالنسبة الى مرقد التيار ويكون الميل بالنسبة للافق فاسـ/فاى أو ر ـ فاد/فاى بموجب معادلة (٥)

ولاجل حل المسئلة المذكورة بواسطة معادلة (٦) يستعمل لذلك طريقة سامسون

فاذا كان الارتفاع دَ الذى هو مقدار معلوم للارتفاع د فى القطع اَبَ المتطرف اكبر أو اصغر من الارتفاع الموافق لحالة الانتظام يحكم بان الارتفاع دً المطلوب للقطع اً بً اكبر او اصغر من دَ ويحسب احدى هاتين الحالتين يعطى للكمية د مقادير متحدة الفرق ومتزائدة او متناقصة دَ و د١ و د٢ و د٣ . . . . . . يحسب بالنسبة لكل

منها

منها المقادير ح و ب و وع و ے ثم مقادير الدالة

$$\frac{1 - \text{ه} \frac{\text{وع}^2}{\text{ح}} \frac{ے}{ب}}{\text{م} - \frac{ح}{ب}(\text{وع} + \text{وَع}^2)}$$

ولتكن صه و صه١ و صه٢ و صه٣ و صه٤ و صه٥ و صه٦ ... الخ المقادير المتوالية للدالة المذكورة فيجعل ي٢ و ي٤ و ي٦ .... الخ رموز الابعاد نقطة الاصل ا عن القطوع العرضية التي يكون فيها للارتفاع د المقادير د٢ و د٤ و د٦ .... الخ يحدث

$$\text{ي}_2 = \frac{\text{د} - \text{دَ}_1}{3}(\text{صه} + 4\,\text{صه}_1 + \text{صه}_2)\ \text{و}\ \text{ي}_4 - \text{ي}_2 = \frac{\text{د} - \text{دَ}_1}{3}$$

(صه٢ + ٤ صه٣ + صه٤) و

$$\text{ي}_6 - \text{ي}_4 = \frac{\text{د} - \text{دَ}_1}{3}(\text{صه}_4 + 4\,\text{صه}_5 + \text{صه}_6)$$ وهلم جرا

وتستخرج من ذلك المقادير ي٤ و ي٦ .... الخ

ويدام العمل الى ان ينتهي الى مقدارين يه و يه+٢ اولهما اصغر من الطول اَا المعلوم وثانيهما اكبر منه وبعملية توسيط سهلة يتعين المقدار دً المحصور بين ده و ده+٢

تطبيق اول على ما تقدم

٨٣ يجب على القارئ اجراء القواعد المتقدمة على الحيالة التي يكون فيها الخليج افقيا وقطعه مستطيلا وعرضه ثابتا ففي هذه الحالة م = ٠ و ے = لَ وهو العرض الثابت للخليج

$$\text{و ح} = \text{لَ} + 2\,\text{د}\ \text{و}\ \text{ب} = \text{لَ}\,\text{د}\ \text{و}\ \text{ع} = \frac{\text{هـ}}{\text{لَ}\,\text{د}}$$

فتؤول معادلة (٦) الى

$$\text{فاي} = -\frac{\text{د} - 2\,\text{ه} \frac{\text{وع}^2}{2\text{ح}}}{(1 + \frac{2\text{د}}{\text{لَ}})(\text{وع} + \text{وَع}^2)}\ \text{فاي}$$

وهي معادلة ينبغي فيها ابراز وع لانه يحدث من الجداول الكميتان $\frac{\text{وع}^2}{2\text{ح}}$ و وع + وَع لكل مقدار رقمي من وع محسوب بمقتضى

معادلة رع = $\frac{هـ}{لَ ى}$

وكان يمكن فى هذه الحالة البسيطة المطلوبة اخذ تكامل فاى جبريا بالنسبة الى الطرفين ىَ و ىً لكن الافيد اجراء طريقة التقريب العامة ليتمرن عليها

فيجعل مثلا لَ = ١٫٣٥م و هـ = ٠٫٨٠م و ىَ = ١م و اَاً = ٦٨٠م ويكفى جعل ٠٫١م فرقا ثابتا بين الارتفاعات ىَ و ى١ و ى٢ .... الخ

تطبيق ثان على ما تقدم

٨٤ اذا فرض فى الخليج الذى تقدم بيان شكله وانحداره فى (بند ٧٤) سد يرتفع الماء خلفه عن مستوى حالة الانتظام بقدر ١٫٥٠م ارتفاعا يقاس على بعد بعض امتار من السد بحيث يحدث فى هذا الموضع م ق أو ى = ٢٫٧٠م وكان المطلوب صورة سطح الماء الى الموضع الذى يؤول فيه تأثير السد الى علو قدره ٠٫٦٠م بحيث يكون عمق الماء فى الموضع المذكور ى = ٠٫٨٠

يقال لاجل الحل ينبغى ان تعتبر زيادة على المعادلات المتقدمة فى (بند ٧٤) وهى ــ = ـَ + ى (لَ + ظى) و ح = حَ + ٢ى $\sqrt{١ + ظ^٢}$ و رع = $\frac{هـ}{ـ}$ معادلة ـ = لَ + ٢ ظى وبهذا تكون معادلة (٦) آيلة الى الصورة فاى = د (ى) فاذ الموافقة لاجراء الطريقة المذكورة فى (بند ٨٢) فيوجد بعد الحل ان مقدار البعد الكائن بين الحدين المذكورين ٩٢٤٤م وهو طول يكون الانحدار الكلى للمرقد فيه

٩٢٤٤ × ٠٫٠٠٠١١٥ = ١٫٠٦٣م ومن ذلك يستخرج ان قدر انحدار سطح الماء بين الحدين المتقدمين ١٫٠٦٣ ــ ٠٫٩٠ = = ٠٫١٦٣م أعنى أن مقدار الانحدار يكون ٠٫٠١٧٦ بالتقريب على كل الف متر

تنبيه

٨٥ اذا نقص فى الجهة الخلفية اصغر مقادير ى الذى تقدم انه يساوى ٠٫٨٠

لاجل

لاجل أن يبحث عن تأثير السد على بعد كبير فى جهة الخلفية شوهد انه كلما تناقص ى ازداد البعد عن السد ازديادا عظيما وظهر ان السطح المرتفع كلما تباعد عن السد تقارب دائما من مستوى حالة الانتظام غير انه لا يمكن ان يصل اليه ابدا كفرع قطع زائد وخطه التقاربى اللذين يقربان دائما من بعضهما بدون أن يتلاقيا نظرا ولكن يعتبر عملا حصول الانطباق متى آل تأثير السد الى علو صغير جدا مثل ٠١ر٠م أو ٠٠٥ر٠م

وانبه على ان للتقارب السطحى المتقدم استثناء كما سيأتى فى (بند ٨٧)

٨٦ ولنرجع الى مسئلة (بند ٨٢) مع اعتبار اعم احوالها فنقول

ليكن كما فى (شكل ٣٧) $ا_٢$ $ب_٢$ قطعا قريبا من القطع $اَ بَ$ المعلومة فيه النقطة $اَ$ التى هى وضع سطح الماء فى القطع المذكور والمطلوب تعيين وضع نقطة $ا_٢$ لسطح الماء فى القطع $ا_٢ب_٢$ فينبغى تعيين هذا الوضع بواسطة معادلة (٣) التى ينبغى فيها ابدال $وَع$ بالرمز $ع_٢$ وهى السرعة المتوسطة فى القطع $ا_٢ب_٢$ وابدال س بالرمز $س_٢$ وهو الانحدار الكلى من $اَ$ الى $ا_٢$

فحينئذ اذا رمز بالرمز $ى_٢$ الى البعد $ا ا_٢$ يحدث

$$س_٢ = ى = \frac{ع_٢^٢ - وَع^٢}{٢ د} + ك \frac{ى}{٢} \frac{ح}{ب} (وع + وَع^٢) فاى$$

ولاجل استعمال هذه المعادلة يفرض للانحدار $س_٢$ مقدار به يتعين تقريبا وضع النقطة $ا_٢$ وتحسب فى هذا الفرض مقادير الكميات $ح_٢$ و $ب_٢$ و $ع_٢$ الموافقة للقطع $ا_٢ب_٢$ ثم يتصور قطع فرضى $ا_١ب_١$ يمر بمنتصف البعد $اَ ا_٢$ فيحدث عنه

$$\frac{ب_١}{ح_١} = \frac{١}{٢} \left(\frac{بَ}{حَ} + \frac{ب_٢}{ح_٢}\right) \quad و \quad ع_١ = \frac{١}{٢} (وَع + ع_٢)$$

فحينئذ يتحصل للقطوع $اَبَ$ و $ا_١ب_١$ و $ا_٢ب_٢$ مقادير الدالة $\frac{ح}{ب} (وع + وَع^٢)$ ولنرمز اليها بالرموز $صَ$ و $ص_١$ و $ص_٢$

فيحدث من قانون سامسون

$$س_٢ = ه \frac{و ع^٢ - وَ ع^٢}{٢ ء} + \frac{ى}{٦} (ص + ٤ ص_١ + ص_٢)$$

فاذا كان المقدار الثانى للكمية س مخالفا لمقدارها الاول الفرضى بحيث تختل منه مقادير الكميات $ع_٢$ و $ر_٢$ و $وع_٢$ ينبغى أن يعاد الحساب بجعل المفروض هو المقدار الثانى س فيتحصل من ذلك مقدار ثالث يخالف المقدار الثانى بيسير يعتبر مساويا للمطلوب

فاذا كان مقدارا الدالة $\frac{ع}{ر}$ (وع + وَع^٢) المرموز اليهما بالرمزين صَ و $ص_٢$ متخالفين قليلا امكن ان يهمل حساب $ص_١$ ويوضع للمسافة اَ اَ

كاى $\frac{ع}{ر}$ (وع + وَع^٢) فاى = $ى_٢ \left(\frac{صَ + ص_٢}{٢}\right)$ فحينئذ يكون

$$س_٢ = ه \frac{و ع^٢ - وَ ع^٢}{٢ ء} + ى_٢ \left(\frac{صَ + ص_٢}{٢}\right)$$

ويحسب كما تقدم $س_٤$ — $س_٢$ الذى هو انحدار السطح من $أ_٢$ الى قطع عرضى آخر $أ_٤ ب_٤$ وهكذا الى القطع المتطرف أً بً

ويظهر من الشكل أن القطع العرضى المعلوم فيه السطح يوجد فى الجهة الخلفية من باقى جزء التيار المعتبر ومن البديهى أن الطرق الحسابية المتقدمة تجرى فى الحالة التى يكون فيها القطع المعلوم فى الجهة الامامية للجزء المذكور

الفصل الثالث عشر

فى النتوّ السطحى لمجارى الماء

٨٧ يتفق عند البحث عن صورة سطح تيار بالابتداء من نقطة معلومة من هذا السطح وقوع حالة شهيرة نذكرها فنقول

لنفرض لمزيد السهولة أن مرقد الخليج منشورى فتكون معادلة التحرك الدوامى حينئذ كما فى (بند ٨٢)

$$\text{فاى} = \frac{1 - \text{ه} \frac{\text{وع}^2}{\text{ح}}}{\text{ر} - \frac{\text{ع}}{\text{ـ}} (\text{وع} + \text{وَع}^2)} \text{ فاد} \cdots\cdots (٦)$$

ويوجد كما فى (بند ٧٤) مقدار للكمية ى يرمز اليه بالرمز د يوافق حالة الانتظام ويحقق المعادلة

$$\text{نق ر} = \text{وع} + \text{وَع}^2 \text{ أو } \text{ر} - \frac{\text{ع}}{\text{ـ}} (\text{وع} + \text{وَع}^2) = ٠$$

اذا تقرر هذا وكان المعلوم نقطة من سطح تيار لارتفاعها مقدار معلوم ىَ والمطلوب تعيين صورة السطح بالابتداء من هذه النقطة الى النقطة التى يؤول فيها عمق ى الى د يلزم لذلك أن تبدل ى فى معادلة (٦) بالمقادير ىَ و ى١ و ى٢ الخ بالابتداء من ىَ الى د فحينئذ يمكن حصول حالتين متغايرتين

الاولى أن لا يكون اى مقدار من المقادير ىَ و ى١ و ى٢ الخ كائنا ما كان اقترابها من بعضها ماحيا للبسط ١ — ه $\frac{\text{وع}^2}{\text{ح}}$ وفى هذه الحالة يتقارب المقام من صفر كلما قرب ى من المقدار د فيتزايد $\frac{\text{فاى}}{\text{فاد}}$ الى مالانهاية وينعدم عكسه $\frac{\text{فاد}}{\text{فاى}}$ الذى هو ميل السطح بالنسبة لقاع الخليج تقريبا فى مقادير ى التى لم تصل الى المقدار د وهذه هى حالة اقتراب السطح

والحالة الثانية أن يكون مقدار ىَ للكمية ى محصورا بين ىَ و د ماحيا للبسط ١ — ه $\frac{\text{وع}^2}{\text{ح}}$ وذلك يدل على أن $\frac{\text{فاى}}{\text{فاد}}$ اذا كانت معادلة (٦) مسلمة ايضا ينعدم فى النقطة التى يكون فيها العمق ىَ فيكون ميل $\frac{\text{فاد}}{\text{فاى}} = \infty$ ويكون السطح متجها عموديا على مقر الخليج ثم بعد ذلك يدل تغير اشارة البسط ١ — ه $\frac{\text{وع}^2}{\text{ح}}$ على انه يوجد بالسطح طية ثانية تحت الاولى ولا ينشأ هذا الناتج الفاسد الا من تطبيق المعادلة المتقدمة على مقادير الكمية ى غير مقبولة فى المعادلة فاذن يلزم أن يكون بالتيار فى هذه الحالة حادث غير موافق لفرض التحرك الحاصل على صورة خيوط متوازية تقريبا وهذا هو الذى قد اثبتته التجربة

٨٨ وقد ذكر المهندس بيدون فى احدى رسائله حوادث غريبة تتعلق

بالحالة المذكورة آنفا

فعمل تجاريبه فى خليج مبنى كان قاعه مسطحا وكان حائزاه الجانبيان رأسيين ومتوازيين على بعد من بعضهما قدره ٠٫٣٢٥م ولنجعل ٠٫٣٢٥ = ل ولم يكن انحدار قاع الخليج ثابتا عند موقع الحادث الذى سنذكره وكان مقداره ٠٫٠٢٣م على كل متر فعلى ذلك نجعل ٠٫٣٢٥م = لَ و ٠٫٠٢٣ = سـ

فاذن يلزم فى معادلة (٦) جعل ى = لَ و سـ = لَد و ع = لَ + ٢ د فتؤول المعادلة المذكورة الى هذه الصورة

$$\text{قاى} = \frac{\text{د} - \text{ه}\ \frac{\text{وع}^{2}}{\text{ج}}}{\text{سد} - \left(1 - \frac{\text{د}^{2}}{\text{لَ}}\right)\left(\text{وع} + \text{وَع}^{2}\right)}\ \text{قاد} \quad \cdots \quad (٧)$$

التى يكون فيها $\text{ع} = \frac{\text{ه}}{\text{لَد}}$

ففى احدى تجاريب المهندس بدون كان مقدار المتصرف ه فى الثانية الواحدة ٠٫٠٢٥١ م٣

ويوافقه فى الخليج المذكور عمق لحالة الانتظام قدره ٠٫٠٦٤م

ولما عمل المهندس بدون فى الخليج المذكور سدا ذا مصب يجبر الماء على الارتفاع بحيث يكون قدر عمق الماء على بعد يساوى مترا واحدا من الجهة الخلفية للسد ٠٫٢٨م وجد فى الجزء الخلفى من الخليج التجريبى أن الماء ينحدر موازيا للقاع على سمك قدره ٠٫٠٦٤م تقريبا فكان يتحرك بناء على ذلك بسرعة متوسطة قدرها ١٫٦٩م الى نقطة توجد خلف السد على بعد مقداره ٤٫٥٠م فكان يحدث فى هذه النقطة من سطح التيار تموج سريع يرفع الماء بحيث ينتقل عمقه فى بعد صغير من ارتفاع قدره ٠٫٠٦٤م الى مقدار يساوى ثلاثة امثال ذلك تقريبا وبعد ذلك يتحرك الماء على سطح محدب تحدبا خفيفا الى السد الذى يمر فيه المتصرف الثابت

وقد وضع لتطبيق المعادلة المتقدمة على حادث تجربة بدون جدول

يتركب من اثنى عشر خانة الاولى منها المرسوم فى رأسها حرف د تدل على الاعماق متوالية متناقصة بمقدار سنتيمتر والخانة الثانية تدل على المقادير المتوالية للسرع المتوسطة فى القطوع المقابلة للاعماق المتقدمة وبقية الخانات يدرك المراد منها بعنوانها وهاك صورته

١	٢	٣	٤	٥	٦
د	ع = $\frac{هـ}{ل د}$ = $\frac{٠,١٠٨}{د}$	$\frac{ع^٢}{ح}$	بسط د − ١,١ $\frac{ع^٢}{ح}$	س د = ٠,٠٢٣ د	١ + $\frac{٢د}{ل}$ = ١ + ٦,١٥ د
٠,٢٨ م	٠,٣٨٥	٠,٠١٥١	٠,٢٦٣٤	٠,٠٠٦٤٤	٢,٧٢٢
٠,٢٧	٠,٤٠٠	٠,٠١٦٣	٠,٢٥٢١	٠,٠٠٦٢١	٢,٦٦١
٠,٢٦	٩,٤١٥	٠,٠١٧٦	٠,٢٤٠٦	٠,٠٠٥٩٨	٢,٥٩٩
٠,٢٥	٠,٤٣٢	٠,٠١٩٠	٠,٢٢٩١	٠,٠٠٥٧٥	٢,٥٣٨
٠,٢٤	٠,٤٥٠	٠,٠٢٠٦	٠,٢١٧٢	٠,٠٠٥٥٢	٢,٤٧٦
٠,٢٣	٠,٤٧٠	٠,٠٢٢٥	٠,٢٠٥٢	٠,٠٠٥٢٩	٢,٤١٥
٠,٢٢	٠,٤٩١	٠,٠٢٤٦	٠,١٩٢٩	٠,٠٠٥٠٦	٢,٣٥٣
٠,٢١	٠,٥١٤	٠,٠٢٦٩	٠,١٨٠٤	٠,٠٠٤٨٣	٢,٢٩٢
٠,٢٠	٠,٥٤٠	٠,٠٢٩٧	٠,١٦٧٣	٠,٠٠٤٦٠	٢,٢٣٠
٠,١٩	٠,٥٦٨	٠,٠٣٢٩	٠,١٥٣٨	٠,٠٠٤٣٧	٢,١٦٩
٠,١٨	٠,٦٠٠	٠,٠٣٦٧	٠,١٣٩٦	٠,٠٠٤١٤	٢,١٠٧
٠,١٧	٠,٦٣٥	٠,٠٤١١	٠,١٢٤٨	٠,٠٠٣٩١	٢,٠٤٦
٠,١٦	٠,٦٧٥	٠,٠٤٦٤	٠,١٠٩٠	٠,٠٠٣٦٨	١,٩٨٤
٠,١٥	٠,٧٢٠	٠,٠٥٢٨	٠,٠٩١٩	٠,٠٠٣٤٥	١,٩٢٣
٠,١٤	٠,٧٧١	٠,٠٦٠٦	٠,٠٧٣٣	٠,٠٠٣٢٢	١,٨٦١
٠,١٣	٠,٨٣١	٠,٠٧٠٤	٠,٠٥٢٦	٠,٠٠٢٩٩	١,٨٠٠
٠,١٢	٠,٩٠٠	٠,٠٨٢٦	٠,٠٢٩١	٠,٠٠٢٧٦	١,٧٣٨
٠,١١	٠,٩٨٢	٠,٠٩٨٣	٠,٠٠١٩	٠,٠٠٢٥٣	١,٦٧٧
٠,١٠	١,٠٨٠	٠,١١٩٠	— ٠,٠٢٠٩	٠,٠٠٢٣٠	١,٦١٥

٧	٨	٩	١٠	١١	١٢
وع + وع٢	حاصل ف الحادث من الحالتين المتقدمتين	مقام ر ك ـ ف اى الخانة الخامسة ـ الثامنة	$\frac{فاى}{فاك}$ = خارج قسمة خانة ٤ على خانة ٩	ابعاد اعماق ك المتوالية	ابعاد بالابتدا من ك = ٠ر٢٨
٠ر٠٠٠٠٦٣٥	٠ر٠٠٠٠١٧	٠ر٠٠٠٦٢٧	٤٢ر٠	٩ر٤١٩	٠ر٠٠٠
٠ر٠٠٠٠٦٨٢	٠ر٠٠٠٠١٨	٠ر٠٠٠٦٠٣	٤١ر٨	٠ر٤١٧	٠ر٤١٩
٠ر٠٠٠٠٧٣٠	٠ر٠٠٠٠١٩	٠ر٠٠٠٥٧٩	٤١ر٦	٠ر٤١٥	٠ر٨٣٦
٠ر٠٠٠٠٧٨٧	٠ر٠٠٠٠٢٠	٠ر٠٠٠٥٥٥	٤١ر٣	٠ر٤١١	١ر٢٥١
٠ر٠٠٠٠٨٤٩	٠ر٠٠٠٠٢١	٠ر٠٠٠٥٣١	٤٠ر٩	٠ر٤٠٧	١ر٦٦٢
٠ر٠٠٠٠٩٢٢	٠ر٠٠٠٠٢٢	٠ر٠٠٠٥٠٧	٤٠ر٥	٠ر٤٠٣	٢ر٠٦٩
٠ر٠٠٠١٠٠١	٠ر٠٠٠٠٢٤	٠ر٠٠٠٤٨٢	٤٠ر٠	٠ر٣٩٧	٢ر٤٧٢
٠ر٠٠٠١٠٩١	٠ر٠٠٠٠٢٥	٠ر٠٠٠٤٥٨	٣٩ر٤	٠ر٣٩١	٢ر٨٦٩
٠ر٠٠٠١١٩٧	٠ر٠٠٠٠٢٧	٠ر٠٠٠٤٣٣	٣٨ر٧	٠ر٣٨٢	٣ر٢٦٠
٠ر٠٠٠١٣١٦	٠ر٠٠٠٠٢٩	٠ر٠٠٠٤٠٨	٣٧ر٧	٠ر٣٧١	٣ر٦٤٢
٠ر٠٠٠١٤٦١	٠ر٠٠٠٠٣١	٠ر٠٠٠٣٨٣	٤٦ر٤	٠ر٣٥٧	٤ر٠١٣
٠ر٠٠٠١٦٢٨	٠ر٠٠٠٠٣٣	٠ر٠٠٠٣٥٨	٣٤ر٩	٠ر٣٤١	٤ر٣٧٠
٠ر٠٠٠١٨٢٩	٠ر٠٠٠٠٣٦	٠ر٠٠٠٣٣٢	٣٣ر١	٠ر٣١٧	٤ر٧١١
٠ر٠٠٠٢٠٧٠	٠ر٠٠٠٠٤٠	٠ر٠٠٠٣٠٥	٣٠ر١	٠ر٢٨٣	٥ر٠٢٨
٠ر٠٠٠٢٣٦٠	٠ر٠٠٠٠٤٤	٠ر٠٠٠٢٧٨	٢٦ر٤	٠ر٢٣٨	٥ر٣١١
٠ر٠٠٠٢٧٢٦	٠ر٠٠٠٠٤٩	٠ر٠٠٠٢٥٠	٢١ر٠	٠ر١٧٤	٥ر٥٤٩
٠ر٠٠٠٣١٧٩	٠ر٠٠٠٠٥٥	٠ر٠٠٠٢٢١	١٣ر١	٠ر ٧٤	٥ر٧٢٣
٠ر٠٠٠٣٧٦٤	٠ر٠٠٠٠٦٣	٠ر٠٠٠١٩٠	١ر٠		٥ر٧٩٧
٠ر٠٠٠٤٥٢٦	٠ر٠٠٠٠٧٣	٠ر٠٠٠١٥٧	—١٣ر٣		

٨٩ ومما يسهل تحقيقه أن معادلة (٧) توافق الحادث المذكور لانه ينتج من الجدول المتقدم أن وجه التيار محدب حيث أن الميل $\frac{فاى}{فاى}$ الذى هو عكس للكمية $\frac{فاى}{فاى}$ المكتوبة فى الخانة العاشرة يتناقص تدريجا كلما تزايد العمق ثم ان الجدول المذكور يدل ايضا على ان معادلة (٧) لا توافق الحالة التقاربية للعلو الحاصل من السد فى جزء التيار الذى يقطع فيه تأثير السد المذكور لان الحالة الثانية المقررة فى (بند ٨٧) محققة الوقوع حيث أن الميل $\frac{فاى}{فاى}$ يؤول الى غير نهاية فى المقدار ى المحصور بين ١٠ ر٠ و ١١ ر٠

٩٠ ولا بد للحادث المتقدم من وضع نظرية خصوصية لانه يفهم بالسهولة فى هذه الحالة أن لتأثير عناصر المائع فى بعضها موقع أهم من تأثير تغير القطع تغيرا محسوسا

وذلك أن نعتبر جزأ من التيار كما فى (شكل ٣٨) محصورا فى وقت ما بين المستويين اَبَ و اًبً الموضوع احدهما خلف النتو على بعد صغير منه والآخر امامه كذلك ثم نجرى على هذه الجملة المادية قضية ازدياد كمية التحرك بان نسلم توازى تحرك الخيوط تقريبا فى القطع اًبً بعد النتو مباشرة

وبناء على أن حادث النتو السطحى يقع فى طول صغير انحدار القاع فيه صغير جدا نفرض هذا القاع افقيا ونهمل بسبب ذلك ايضا فى الامتداد المذكور تأثير احتكاك مقر الخليج فى المائع

فبعد زمن يسير ـ يمضى من الوقت المذكور تكون الجملة محصورة بين حَدَ و حًدً فيكون الازدياد الجبرى لكمية التحرك مساويا لكمية تحرك المائع المحصور بين اًبً و دًحً ناقصة كمية تحرك المائع المحصور بين اَبَ و حَدَ

وباستعمال الرموز المقررة (فى بند ٧٨) يكون هذا الفرق

$$\frac{ط\cdot}{ح}\left(كقً عً^{٢} - كقَ عَ^{٢}\right)$$

واذا ابدلنا السرعة عً فى المجموع كقً عً^٢ بالسرعة وً عً المتوسطة

فان

فان الحاصل $\text{سـ}\,\text{و}''\text{ع}^{٢}$ يكون اكبر من المجموع المذكور غير ان الفرق يكون صغيرا جدّا لانه اذا جعل كما فى (بند ٧٨)

$$\text{ع}'' = \text{و}''\text{ع} + \text{سع} \quad \text{حدث}$$

$$\text{كـ}\,\text{ه}''\text{ع}^{٢} = \text{سـ}\,\text{و}''\text{ع}^{٢} + \text{كـ}\,\text{ه}''\,\text{سع}^{٢} \quad \text{بسبب أن}$$

$$\text{كـ}\,\text{ه}''\,\text{سع} = ٠$$

ولنتذكر الآن اننا وضعنا فى (بند ٧٨) معادلة

$$\text{كـ}\,\text{ه}''\text{ع}^{٣} = \text{سـ}\,\text{و}''\text{ع}^{٣} + \text{كـ}\,\text{سع}^{٢}(٣\,\text{و}''\text{ع} + \text{سع})\,\text{ه}''$$

ثم وضعنا $\text{كـ}\,\text{ه}''\text{ع}^{٣} = \text{ه}\,\text{سـ}\,\text{و}''\text{ع}^{٣}$ وجعلنا ه رمزا الى عدد مختلف قليلا عن ١ر١ وبالتنبيه على أن سع يكون تارة كمية موجبة وتارة سالبة وانه يمكن بدون خطأ معتبر اهمالها بالنسبة الى $٣\,\text{و}''\text{ع}$ ينتج من هاتين المعادلتين

$$(\text{ه} - ١)\,\text{سـ}\,\text{و}''\text{ع}^{٣} = ٣\,\text{و}''\text{ع}\,\text{كـ}\,\text{ه}''\,\text{سع}^{٢}$$

ومن هنا يحدث

$$\text{كـ}\,\text{ه}''\,\text{سع}^{٢} = \frac{\text{ه} - ١}{٣}\,\text{سـ}\,\text{و}''\text{ع}^{٢}$$

وبابدال الكمية $\text{كـ}\,\text{ه}''\,\text{سع}^{٢}$ بمقدارها فى مقدار $\text{كـ}\,\text{ه}''\text{ع}^{٢}$ يحدث

$$\text{كـ}\,\text{ه}''\text{ع}^{٢} = \left(١ + \frac{\text{ه} - ١}{٣}\right)\text{سـ}\,\text{و}''\text{ع}^{٢}$$

او

$$\text{كـ}\,\text{ه}''\text{ع}^{٢} = \text{هَ}\,\text{سـ}\,\text{و}''\text{ع}^{٢}$$

بجعل هَ رمزا الى عدد لا يتجاوز الوحدة الا ببعض اجزاء من مائة

وحينئذ يكون الازدياد الجبرى لكمية تحرك الجملة $\text{أَبَ}\ \text{أَبً}$ بعد الزمن ـ

$$\text{هَ}\,\frac{\text{ط}}{\text{ح}}\left(\text{سـ}\,\text{و}''\text{ع}^{٢} - \text{سـ}\,\text{و}\text{ع}^{٢}\right)$$

ويكون هذا الازدياد مساويا لمجموع دفعات القوى الخارجة مسقطة على خط مواز للتحرك

فاذا اهملنا لاجل مزيد السهولة القوى المنسوبة لضغط الجوّ التى تماحى

فلا يبقى علينا بموجب الفروض الا اعتبار الضغطين الحاصلين على المستويين
أبَ و أبً اللذين تكون دفعتهما

ط (سَفَ ــ سً فً) ـ

بجعل فَ و فً رمزين الى بعدى مركزى ثقل قطعى أبَ و أبً
تحت المستقيمين الافقيين المسقطين احدهما فى اَ والآخر فى اً فاذن
يحدث من القضية النظرية المذكورة

$$\frac{ثَ}{ح}\ (سً وً - سَ وَ^{٢}) = سَ فَ - سً فً$$

وانه يحدث بسبب أن سً وً = سَ وَ أو أن

$$سً وً^{٢} = \frac{سَ^{٢} وَ}{سً}$$

$$ثَ\ \frac{وَ^{٢}}{ح}\ (١ - \frac{سَ}{سً}) = \frac{سً}{سَ}\ فً - فَ$$

٩١ وتختصر هذه المعادلة اذا كان للخليج قطع مستطيل ولذا يجعل
دَ و دً رمزين الى عمق الماء وهما أبَ و أبً فيحدث

$$\frac{سً}{سَ} = \frac{دً}{دَ}\ و\ فَ = \frac{١}{٢}\ دَ\ و\ فً = \frac{١}{٢}\ دً$$

فتؤول المعادلة المذكورة الى

$$٢\ ثَ \times دَ \times \frac{وَ^{٢}}{ح}\ (دً - دَ) = (دً^{٢} - دَ^{٢})\ دً$$

أوانه يحدث بقسمة طرفيها على دً ــ دَ

$$٢\ ثَ دَ \times \frac{وَ^{٢}}{ح} = دً^{٢} + دَ دً$$

ومن ذلك يستخرج

$$دً = -\frac{١}{٢}\ دَ + \sqrt{\frac{١}{٤}\ دَ^{٢} + ٤\ ثَ\ دَ\ \frac{وَ^{٢}}{٢ح}}\ \ldots \qquad (٨)$$

وهى معادلة يحدث منها العمق دً الكائن بعد النتوّ مباشرة بواسطة الكميتين

ءَ و وعَ المأخوذتين في الجهة الخلفية من التنوّ

٩٢ ولنطبق هذه المعادلة على معاليم التجربة المقررة في (بند ٨٨) وهي

ءَ = ٠٫٠٦٤م و وعَ = ٠٫١٠٨ / ٠٫٠٦٤ = ١٫٦٨٨ و وعَ² / ٢جـ = ٠٫١٤٥٣

وبجعل ثَ = ١٫٠٤ يحدث ءً = ٠٫١٦٧م

فحينئذ ارتفاع التنوّ وهو ءً — ءَ يكون ٠٫١٠٣م

وصورة وجه التيار في الجهة الامامية من النقطة التي قدر العمق فيها ٠٫١٠٣م تكون معلومة من الجدول الموجود في (بند ٨٩) وينتج من ذلك أن بعد هذه النقطة التي قدر العمق فيها ٠٫٢٨م يكون بموجب معادلة (٧)

٤٫٣٧٠م + ٣٤٫٩ × ٠٫٠٠٣ = ٤٫٤٧٥م

لكن في هذا الامتداد يميل القاع بقدر

٠٫٠٢٣ × ٤٫٤٧٥ = ٠٫١٠٣م فحينئذ النقطة العظمى ارتفاعا من نقط وجه التيار بالقرب من السدّ تكون موجودة فوق النقطة المأخوذة مباشرة خلف التنوّ

بالمقدار ٠٫٢٨م — ٠٫١٠٣م — ٠٫٠٩٦٤ = ٠٫١١٣م

وقد وجد بدل ذلك المهندس بيدون ٠٫١٢٥م بالتجربة

وشاهد ايضا أن التنوّ يتكوّن على بعد قدره ٤٫٥٠م خلف السدّ وبمقتضى الحساب المتقدم يتكوّن على بعد قدره ٤٫٤٧٥م ويمكن أن يكون عدم انتظام انحدار قاع الخليج سببا لهذا الفرق الذي يمكن ايضا أن يكون ناشئا كله او جزء منه من انه يلزم في تيار ذي عمق صغير جدّا كالتيار المذكور أن يجعل للمكررين ثَ و ثً مقداران اعظم من المقدارين المفروضين لهما

٩٣ ولا يمكن تطبيق معادلة (٨) المقرّرة في (بند ٩١) على تنوّ سطحي الا اذا حدث منها ءً > ءَ ولكنه يفهم بالسهولة أن هذا الشرط يرجع الى ءَ < ثَ وعَ² / جـ لكن بملاحظة معادلة (٦) والملحوظات المقرّرة في (بند ٨٧) تتذكر انه عند الكلام على علو ناشئ من سدّ أو نحوه كانت الكمية فاى / هاء دالة على

وجود نتوء متى وجد فى مقادير ى مقدار به يكون البسط سالبا او صغيرا جدا بالنسبة الى المقام الموجب وفى حالة الخليج المستطيل التى تنسب اليها معادلة (٧) المقررة فى (بند ٨٨) يكون النتوء متوقعا متى كان ى مساويا لعمق حالة الانتظام فاذن يحدث ايضا

$$ى > ه \frac{ع^2}{ج}$$

وحيث كان المكرران هَ و ه يختلفان عن الوحدة قليلا اتحد الشرطان المذكوران تقريبا ومن هذا الاتحاد يحدث

اولا انه متى لزم انهاء علو سطحى ناشئ من سد بنتوء تعين بمعادلة (٨) ارتفاع النتوء المذكور ومعادلة (٧) الموصلة الى نتيجة فاسدة عند تجربتها فى سائر مقادير ى المحصورة بين العمق الاكبر والاصغر للتيار لا تجرى الا بالابتداء من النتوء وبها يتعين القطع الطولى للعلو الذى يكون على صورة منحن من النتوء الى السد

وثانيا اذا دل تطبيق معادلة (٧) على منحن مقعر غير محدود من جهة الخلف كما فى المثال المذكور فى (بند ٨٤) اعنى انه ليس بالتيار نتوء ما يكون هو الحادث المذكور مدلولا عليه ايضا بمعادلة (٨) التى اذا فحص فيها عن ىً — ىَ الذى هو ارتفاع النتوء دلت على فساد الفرض بكونها تحدث للنتوء ارتفاعا سالبا وقد اخطأ المهندس بيدون خطأ عظيما حيث جعل النتائج الغريبة التى وجدها بالتجربة المحتوية كلها على النتوء عامة فقال أن سطح الماء يكون فى امتداد العلو الحادث من حرف مصب مستويا تقريبا وافقيا منتهيا بنتوء محسوس عظيم القدر او قليله

٩٤ واستعمال معادلة (٨) المخصوصة بالنتوء تستلزم معرفة عمق الماء مباشرة فى الجهة الخلفية لهذا النتوء وهذا العمق يتعلق باسباب تحرك الماء فى الجزء الاعلى من الخليج فاذا كان للخليج طول كاف فى الجهة الخلفية من النتوء وانحدار كاف لحصول سرعة موافقة لوقوع الحادث المذكور فان العمق الخلفى للنتوء يختلف قليلا عن عمق حالة الانتظام كما فى تجاريب المهندس بيدون ويلزم

في صورة العكس وهي ما اذا كان للخليج طول صغير خلف النتو وأن السرعة خلف النتو تكون حادثة من سقوط بواسطة منفذ وسع قاعه يساوي عرض الخليج ويكون للماء خلفه ضغط كاف ففي هذه الحالة يقال حيث كان الخليج منحدرا وكان ارتفاع الماء المحجوز في الطرف الامامي للخليج ثابتا بالفرض فبتغير ارتفاع المنفذ والضاغط معا او احدهما بعد الآخر يتغير ايضا ارتفاع النتو وموضعه فاذا لم يكن سمك اوسرعة عرق الماء في المنفذ قويا بالكفاية بحيث يصل النتو الى ارتفاع الماء المحجوز انغمر المنفذ بماء الحوض الاسفل ويمكن أن تحسب هذه الاحوال المتنوعة بموجب المعادلات التي تقدم ذكرها

٩٥ ولنطبق هذه الاعتبارات على الماء المتصرف من منفذ متبع بخليج تصريف فنفرض كما في (شكل ٣٩) أن هذا المنفذ مستطيل منفرج من جهة الحوض الاعلى وأن خليج التصريف منشوري وقاعه وجنباه في امتداد المنفذ وأن الخليج المذكور صغير الطول يصب ماءه في حوض متسع يجعل فيه توازن الماء بحسب الارادة بواسطة باب صرف للحوض المذكور

فاذا لم يكن ى َ الذي هو ارتفاع المنفذ والعرق المتصرف كبيرا جدا بالنسبة لسرعته كما في (بند ٩٣) فانه يمكن بواسطة حجز الماء في الحوض الاسفل تحصيل نتو نهايته الكبرى تحصل عندما يراد اعلاء توازن الماء في الحوض الاسفل زيادة عما كان فينغمر الخليج والمنفذ

ولتكن في هذا الفرض سرعة خروج الماء من المنفذ المفروض منفرجا انفراجا تاما

$$ع َ = ٠,٩٨ \sqrt{٢ ح س} \quad أو \quad \frac{ع َ^{٢}}{٢ ح} = ٠,٩٦ \, س$$

ولنمثل لذلك بالمعاليم المتقدمة في (بند ٩٢) وهي

$$ى َ = ٠,٠٦٤ \quad و \quad ع َ = ٠,٦٨٨ \quad أو \quad \frac{ع َ^{٢}}{٢ ح} = ٠,١٤٥٣$$

فيستخرج من ذلك أن $س = \frac{٠,١٤٥٣}{٠,٩٦} = ٠,١٥١$

ثم يحدث من معادلة (٨) ءً = ١٦٧ر٠ فبناء على ذلك فرق توازن الماء فى الحوض الاعلى عن توازنه فى الحوض الاسفل مأخوذا بعد النتو مباشرة يكون .

س + ءَ ـ ءً = ١٥١ر٠م + ٠٦٤ر٠ = ٠٤٨ر٠

فاذا كان المنفذ يصب مائعه حالا فى الحوض الاسفل وكان توازنه دائما فان سرعة الخروج لاتكون الا ٩٨ر٠ √٠٫٠٤٨×٢ = ٩٥١ر٠م عوضا عن السرعة ١٫٦٨٨ المكتسبة بواسطة خليج التصريف

الفصل الرابع عشر

فى تأثيرات التغيرات الدفعية الحادثة لقطع الخلجان المكشوفة

٩٦ يمكن دائما استعمال النظرية المتعلقة بالتحرك الدوامى مع الضبط الكافى ولو كان قطع التيار متغيرا تغيرا معتبرا اما من انحدار القاع اومن عكس انحداره واما من اقتراب الشواطئ اومن ابتعادها اومن جزيرة اومن جسم بارز حيثما اتفق ومرتفع فى التيار غير انه يلزم لذلك استيفاء الشروط الاصلية اللازمة للنظرية فيلزم

اولا أن لا يكون تناقص القطع سريعا بحيث تزيد سرعة التيار منه وبذلك تزيد المقاومة بمقتضى قاعدة مغايرة للقاعدة المبينة لدالة السرعة المتوسطة وهى

وع + وَع٢

وثانيا أن يكون انفراج القطع تدريجيا بحيث تكون الخيوط السائلة ملازمة لسيرها التقدمى على الحائز المذكور فحينئذ لا يكون بين الحائز والتيار مسافات مشغولة بالشميات او الدوامات

وليست هذه الشروط متأتية فى مرور ماء نهر بين بغال قنطرة أو على راس سد مغمور ولا ينتج من النظرية المتقدمة الا ملحوظات تتعلق بصورة التيار فى هذه الاحوال .

٩٧ فاذا كان لبغال قنطرة فى الجهة الخلفية وجه مستو رأسى وعمودى على

على التيار فانه يحدث من ذلك انضمام مماثل للانضمام الحاصل فى مبدا الموصلات الاسطوانية ويمكن ازالة هذا الانضمام بجعل مقدم كل بغل منحنيا وممتدا بالوجهين ويوجد للتيار امام بغل القنطرة شمية ودوامات مماثلة للتحركات الحاصلة بعد الانفراج السريع لانابيب التوصيل ولا ينتج من تحدب مؤخر البغال وانحنائه منع كلى لحصول الشمية والدوامات غيرأن هذا الجزء المؤخر نافع بالنسبة لصلابته

٩٨ فاذا سلمنا أن تأثير الانضمام الحاصل فى ١١ الذى هو مدخل الماء فى عين القنطرة مهمل انظر (شكل ٤٠) وقطعنا النظر ايضا عن الاحتكاك الحاصل فى هذا الامتداد الصغير فانه يحسب سقوط سطح الماء من ١ الى ١َ بواسطة معادلة (٣) مع اهمال الحد المنسوب للاحتكاك

ولترمز الى هذا السقوط الذى هو فرق توازن سطح التيار بين النقطة ١ و ١َ بالرمز س والى السرعتين الحاصلتين فى القطعين اب و اَبَ بالرمزين ع و عَ فيحدث من المعادلة المذكورة

$$س = ن \frac{عَ^٢ - ع^٢}{٢ء}$$

ويمكن حساب الانحدار السطحى من ١َ الى ١ً بواسطة معادلة (٦) حيث أن الخليج هنا مستطيل واما الانحدار من ١ً الى ١ٌ الموجودة على بعد بعض امتار من خلف القنطرة فيمكن بدون خطأ معتبر أن يفرض انه معدوم بسبب الشميات

وليكن ل رمزا الى العرض المتوسط للتيار فى القطع اب الكائن خلف القنطرة و لَ رمزا الى وسع القنطرة فى القطع اَبَ و ى رمزا الى اَبَ الذى هو عمق الماء فى هذا القطع فاذا اهمل انحدار القاع من ب الى بَ فان العمق يكون فى القطع اب مساويا ى + س

وليكن هـ رمزا الى متصرف التيار فى كل ثانية فيحدث

$$هـ = ع ل (ى + س) = عَ لَ ى$$

وبذلك تؤول المعادلة المتقدمة الى

$$\text{س} = \text{ق}\,\frac{\text{ه}^{2}}{2\,\text{ج}}\left(\frac{1}{\text{ل}^{2}\,\text{ء}^{2}} - \frac{1}{\text{ل}^{2}\,(\text{ء}+\text{س})^{2}}\right)$$

ومن هذا يستخرج ارتفاع السقوط س متى علم الحجم ه والارتفاع ء الذى يكفى لتعيينه أن تكون نقطة الماء وهى ١° أو ١ً الموجودة امام القنطرة معلومة

فاذا كان هنالك انضمام فى النقطة ١ بمعنى أن الخيوط السائلة تكون منفصلة عن البغال كانت سعة القطع أَبَ فى هذه الحالة مبينة بالكمية م لَ ء عوضا عن لَ ء و م رمز الى المكرر الذى يكون على رأى المهندس ايتلوين ٠,٨٥ اذا كان للبغال مقدم منته بمستو و ٠,٩٥ اذا كان لهما مقدم محدّب

٩٩ وحيث انه لا يوجد نظرية كلية كافية للتصرف من المصاب الحقيقية فلا يوجد من باب اولى نظرية للسدود المغمورة اى المصبات التى رأسها اقل ارتفاعا من سطح ماء الحوض الاسفل

وبمقتضى (بند ١٧) والتنبيه على انه يوجد معنا تيار عوضا عن حوض به ماء راكد خلف السد يلزم فى معادلة المتصرّف الحاصل فى كل متر من عرض المصب وهى

$$\text{ه} = \text{م}\ \text{س}_{1}\sqrt{2\,\text{ج}\,\text{س}_{1}}$$

جعل س رمزا الى مجموع حدين احدهما بعد رأس المصب عن سطح الماء فى نقطة قريبة من الجهة الخلفية

وثانيهما الارتفاع المنسوب لسرعة التيار فى النقطة المذكورة وينتج ايضا من (بند ١٧) انه اذا لم يكن توازن الحوض الامامى مرتفعا فوق رأس المصب بكمية اكبر من $\frac{2}{3}$ س١ فان مقدار المتصرف ه لا يتغير ويحسب بالقانون المذكور

واذا تجاوز ارتفاع توازن ماء الحوض الاسفل $\frac{2}{3}$ س١ ورمز اليه بالحرف ء

وفرض

وفرض ان للتيار الافقى على رأس المصب الارتفاع ء المذكور لزم فى هذه الحالة أن تكون سرعة التيار مبينة بالكمية $\sqrt{2ح(س_١ - ء)}$
وان المتصرف الحاصل فى كل متر من العرض يكون مبينا بكمية
$$ء \sqrt{2ح(س_١ - ء)}$$
ويلزم لتعيين مكرر تصحيح هذا القانون تجاريب جديدة

والدوامات ذات المحاور الافقية المتكونة تحت العرق المتصرف فى الجهة الامامية للمصاب الحادث من حائزها الموجود بالجهة المذكورة مع الافق زاوية كبيرة تتلف صلابة هذه السدود متى كانت المياه متكاثرة بدون أن يكون فيها كفاية لرفع استوائها فى الجهة الامامية فوق رأس السد ومتى كان هذا الارتفاع عظيما كان تأثير السقوط قليلا

الفصل الخامس عشر

فى تضاغط الماء والاجسام الصلبة عند تحركهما النسبى

١٠٠ وتتعلق الحوادث التى نحن بصددها بما يعرف باسم مقاومة السوائل والى الآن لم تتم معارف تطبيق الرياضة على الطبيعة فى هذا الشأن الا فى حالة سهلة بسيطة نذكرها فنقول

الحالة الاولى فى ضغط عرق مائع على مستوٍ ثابت

١٠١ ليفرض أن تيارا من مائع حيثما اتفق محذوفا فى الفراغ او فى الهواء قابل مستويا يجبره على الانحراف

وليسلم على بعد من المستوى أن صورة التيار الخارجية منشورية او اسطوانية وان عناصر المائع فى هذا الموضع متحركة مع التوازى بسرعة مشتركة وبدون تضاغط من نفسها دون ضغط الجو ولنفرض ايضا أن المستوى ممتد بالكفاية بحيث يكون المائع بعد انحرافه متحركا تحركا موازيا لهذا المستوى بسرع واتجاهات ما وعدم تضاغط من نفسها دون ضغط الجو ثم نفرض أن التيار وصل الى حالة الانتظام كما فى (بند ١)

اذا تقرر هذا فلنعتبر أن كلا من المقاومات او الانضغاطات الحاصلة من المستوى على النقطة المادية للمائع تكون محلولة الى قوتين احداهما موازية للمستوى والاخرى عمودية عليه ينسب جزأ منها لضغط الجوّ والمطلوب مجموع المركبات العمودية الباقية الذى هو مجموع مساو ومضاد للضغط العمودى الحادث من المائع على المستوى بقطع النظر عن ضغط الجوّ

واما المركبات الموازية للمستوى فانها تحدث احتكاكه بالمائع وليس هنا محل تعيينها

ولنعتبر فى وقت مّا جزأ من المائع محصورا بين المستوى اب العمودى على التيار الاسطوانى وبين السطح الاسطوانى الذى لم يظهر منه فى (شكل ٤١) الا الضلعين حد و من والذى يكون المائع بعده متصرّفا بالتوازى للمستوى المصدوم وح ويكون هذا المستوى عموديا على مستوى الشكل ومحدثا مع الخط الرأسى للزاوية ى وليكن ع رمز السرعة المشتركة الثابتة للعناصر المارة بالمستوى اب فبعد زمن صغير ز تكون هذه العناصر شاغلة لمستو مجاور له اَبَ يكون بعده عن المستوى المتقدم ع ز وفى الوقت الاخير من الزمن ز تكون العناصر التى كانت فى السطح حدمن ابتداء على سطح آخر قريب منه حَدَمَنَ

وعلى ذلك تكون جملة النقط المادية المعتبرة محصورة فى الوقت الاخير من الزمن ز بين المستوى اَبَ والسطح حَدَمَنَ ولا تكون هذه النقط المادية المحصورة فى الوقت الاخير بين اَبَ و حدمن عين النقط التى كانت تشغل مواضعها فى الوقت الابتدائى الا انها متحدة معها فى الجسمات والسرع بسبب دوام التحرك

وليكن ى الزاوية الحادة الحادثة من المستوى وح ومن اتجاه التيار فى موضع القطع اب

وليكن وس رمز المحور مّا عمودى على المستوى وح فيمكن أن يعتبر مجموع كميات تحرك الجملة مسقطة على هذا المحور مقسوما فى الوقت الابتدائى الى جزئين احدهما مجموع الكميات المنسوبة للمائع المحصور بين اب و اَبَ وهذا المجموع

المجموع هو — مرع جا. بجعل م رمزا الى الجسم الكلى للجزء المذكور
وثانيهما مجموع كميات التحرك المسقطة المنسوبة الى العناصر المحصورة بين
أَبَ و ح دمن والرمز له بالرمز ك مَ عَ س وكذلك يعتبر مجموع كميات
التحرك المسقطة فى آخر الزمن ز منقسما الى جزئين
احدهما المجموع الذى ينسب للمائع المحصور بين أَبَ و ح دمن
والذى تكون كمية تحركه المسقطة ايضا ك مَ عَ س بسبب دوام التحرك ح دمن
وثانيهما المجموع المنسوب للمائع الذى يوجد عند تجاوزه للسطح موجودا بين
هذا السطح وبين السطح حَ دَمَ نَ وحيث كانت السرع كلها فى هذه المسافة
موازية للمستوى فرضا تكون مساقطها على المحور وس معدومة فحينئذ
يكون ازدياد كميات التحرك للجملة المسقطة

ك مَ عَ س — (كَ مَ عَ س — م ع جا.) أو م ع جا.

وليكن الآن ن رمزا للمطلوب من مجموع القوى العمودية الواقعة من
المستوى و ح على المائع بقطع النظر عن ضغط الجو وهذه القوى
موازية للمحور وس
والقوى الاخر الخارجية المؤثرة فى الجملة هى
اولا مركبات احتكاكه الموازية للمستوى و ح المعدومة المساقط على
المحور وس
وثانيا انضغاطات الجو التى مساقطها على محورما معدومة كما لو كانت
الجملة ا ب ح دمن ساكنة
وثالثا القوى الحادثة من التثاقل التى مسقطها على المحور وس يكون
— ثجا بجعل ث رمزا الى ثقل المائع المحصور بين اب و ح دمن
فاذن يحدث من قضية كمية التحرك

م ع جا. = ن ز — ث ز جا .... (١)

وبجعل س رمزا الى سعة القطع العمودى على التيار الاسطوانى فى

أ ب و ط رمزا الى ثقل مترمكعب من المائع يحدث ـ × ع٢ للجسم
أ ب أَ بً فاذن يكون م = $\frac{١}{٢}$ ط ـ ع٢
فتؤول معادلة (١) الى

$$\text{ن} = \text{ط}\ \frac{\text{ع}^{٢}}{٢}\ \text{جا د} + \text{ش جا ه}$$

فالجزء ش جا ه المتعلق بتأثير التثاقل هو الضغط الحادث من الجملة أ ب ح د م ن كالو تزحلقت بدون تغير صورتها مع موازاتها للمستوى و ح ويكون الجزء الآخر من الضغط ن مساويا لثقل اسطوانة من المائع المذكور قاعدتها القطع ـ وطول اضلاعها ضعف الارتفاع $\frac{\text{ع}^{٢}}{٢ج}$ المنسوب للسرعة ع وهذه الاضلاع تحدث مع القاعدة الزاوية د الحادثة من اتجاه التيار مأخوذا فى المحل المرموز الى السرعة فيه بالرمز ع ومن المستوى الذى يقابله

١٠٣ فاذا كان المستوى المقاوم قليل الامتداد وحدث من سرعة المائع بعد هذا المستوى ومن العمود و س زاوية منفرجة كما فى (شكل ٤٢) كان مقدار القوة ن صغيرا عن الحالة المتقدمة بسبب أن المقدار الجبرى لكمية التحرك المسقطة فى الوقت الاخير اصغر من مقدارها فى الحالة المتقدمة

واذا انجبر التيار بواسطة الحروف المركبة على المستوى المضغوط بالمائع على ارتداده عن المستوى بزوايا حادة مع الخط العمودى كما فى الشكل المذكور كان مقدار الضغط ن اكبر من مقداره فى الحالة الاولى وقد اثبتت التجربة هذه النتائج النظرية غير أن هذه النظريات لا تكفى لتعيين شدة الضغط فى الحالتين الاخيرتين لان هذه القوة تتعلق بالسرع الباقية بالمائع المرتد بعد المستوى المضغوط

١٠٤ وفى الاوقات الاولية من مقابلة المستوى بالعرق السائل اعنى قبل حصول دوام التحرك يكون الضغط كبيرا جدا لان المقادير الحقيقية للسرع فى المسافة أَ بَ ح د م ن تتناقص تناقصا سريعا جدا فحينئذ الكمية

السالبة

السالبة كم $ع_{س}$ التي تثبت بعد زمن يسير من الزمن تزيد ازديادا جبريا
ويلزم أن يكون ازديادها مدة الزمن $ن$ مضافا الى الطرف الاوّل من
معادلة (١) لكن حيث كان قانون تغير هذه الكمية غير معلوم لا يمكن أن
يعين الضغط فى المدّة القصيرة الحادثة قبل دوام التحرك تعيينا نظريا

الحالة الثانية فى الضغط الحاصل من مائع دوامى التحرك فى موصل اسطوانى على مقاومات متنوعة

١٠٥ فى الضغط الحاصل على الرقعة د د الرقيقة الثابتة العمودية على التيار كما فى (شكل ٤٣)

ليكن أَبَ و أب رمزين لقطعى تيار موجود احدهما فى الجهة الخلفية والآخر فى الجهة الامامية من القطع المنضم الطوق أًبً مِمَ على ابعاد تكفى وان كانت صغيرة لان يكون تحرك المائع فيها على صورة خيوط متوازية تقريبا فاذا قطع النظر عن احتكاك الحائز وعدم تساوى سرع الخيوط فى القطوع أب و أَبَ و أًبً فانه يمكن اجراء المعادلات المذكورة فى (بندى ٢ و ٢٣) على الحالة التى نحن بصددها

وبجعل ع و عَ و عً و ضَ و ضَ و ضً رموزا الى السرع والانضغاطات الحاصلة على كل متر مربع من الثلاثة قطوع المذكورة و س و سَ و سً رموزا لابعاد مراكز ثقل القطوع عن مستو ثابت يحدث

من أَبَ الى أًبً بمقتضى (بند ٢)

$$\frac{ع'^2}{2ح} + س' + \frac{ض'}{ط} = \frac{ع''^2}{2ح} + س'' + \frac{ض''}{ط} \quad .. \quad (١)$$

ومن أًبً الى أب بمقتضى (بند ٢٣)

$$\frac{ع''^2}{2ح} + س'' + \frac{ض''}{ط} = \frac{ع^2}{2ح} + س + \frac{ض}{ط} + \frac{(ع''-ع)^2}{2ح}$$

وبالتنبيه على أن ع = عَ ينتج

$$\frac{ضَ - ض}{ط} + سَ - س = \frac{(عً - ع)^٢}{٢ج} \quad \cdots\cdots \quad (٣)$$

وقد تعين من ذلك فرق ضَ - ض الذي هو فرق الانضغاطات الواقعة على كل متر في القطعين أبَ و اب فيمكن أن تستنتج حينئذ محصلة القوى الحادثة من التيار على وجهى الرقعة دد وهذه القوى مساوية ومضادة للمقاومات الحادثة من الرقعة المذكورة على المائع

ولاجل ذلك يعتبر في مدة صغيرة انتقال المائع المحصور في مبدء الامر بين المستويين أبَ و اب فيشاهد أن مجموع كميات التحرك المسقطة على محور الانبوبة ثابت فاذن يكون مجموع مساقط القوى الخارجة على المحور المذكور معدوما وتؤول هذه القوى المسقطة عند اهمال احتكاك الانبوبة

اولا الى الضغطين ـضَ و ـــ ـض الواقعين على المستويين أبَ و اب المرموز الى سعتهما بالرمز ـ

وثانيا الى مسقط ثقل الجملة الذي هو طا ـ (سَ ـــ س)

وثالثا الى محصلة القوى الحاصلة من الرقعة على المائع ولنرمز الى هذه القوة الاخيرة المؤثرة من الامام الى الخلف بالرمز مق فيحدث معنا حينئذ

$$ـضَ - ـض + طـ (سَ - س) - مق = ٠$$

أو

$$مق = طـ \left(\frac{ضَ - ض}{ط} + سَ - س\right)$$

وبناء على ذلك يحدث بمقتضى معادلة (٣)

$$مق = طـ \frac{(عَ - ع)^٢}{٢ج} \quad \cdots\cdots\cdots \quad (٤)$$

وليكن ه رمزا الى سعة الرقعة دد فتكون سعة المنفذ الطوقى وهو دل و دلَ المحصور بين الرقعة والانبوبة ـ ــ ه فاذا رمز بالحرف م الى مكرر خاص بالانضمام الحاصل في القطع أً م مَ الطوقى الذي سعته ـَ فانه يحدث

$$\acute{ت} = م\,(ب - ى)$$

ويحدث ايضا بسبب عدم قبول المائع للضغط

$ب\,ع = \acute{ت}\,\acute{ع}$ ومن هنا ينتج $\acute{ع} = ع\,\frac{\acute{ت}}{م(ب - ى)}$ . . . . . (٥)

فحينئذ يمكن وضع معادلة (٤) بهذه الصورة وهى

$$مق = ط\,ى \times \frac{ع^{٢}}{٢ج} \times \frac{\acute{ت}}{ى}\left(\frac{\frac{\acute{ت}}{ى}}{م\left(\frac{\acute{ت}}{ى} - ١\right)} - ١\right)^{٢} \quad (٦)$$

أو $مق = ك \times ط\,ى\,\frac{ع^{٢}}{٢ج}$ بجعل

$$ك = \frac{\acute{ت}}{ى}\left(\frac{\frac{\acute{ت}}{ى}}{م\left(\frac{\acute{ت}}{ى} - ١\right)} - ١\right)^{٢}$$

فاذن تكون المقاومة مق الكلية للرقعة مناسبة للثقل النوعى ط للمائع وللسعة ى من الرقعة وللارتفاع المنسوب للسرعة ع فى الانبوبة وللكمية ك التى لا تتعلق الا بمكرر الانضمام وهو م وبالنسبة $\frac{\acute{ت}}{ى}$ لسعتى قطع الانبوبة والرقعة

فاذا فرض مثلا أن $\frac{\acute{ت}}{ى} = ٤$ و $م = ٠{,}٨٥$

(بالنظر الى كون الانضمام لا يكون حاصلا الا حول الرقعة وكون الخيوط منحرفة يسيرا) يحدث

$$ك = ٤\left(\frac{٤}{٢{,}٥٥} - ١\right)^{٢} = ١{,}٣٠$$

ويمكن أن يسلم على العموم أن م لا يكون متعلقا الا بالنسبة $\frac{\acute{ت}}{ى}$ فحينئذ اذا كانت الانبوبة والرقعة باقيتين على حالة واحدة وتغيرت السرعة كانت المقاومة مق مناسبة لمربع السرعة واذا تغير السعتان ن ب و ى وكانتا باقيتين على نسبتهما كانت المقاومة $\frac{مق}{ى}$ الحاصلة على كل متر مربع من الرقعة مناسبة ايضا لمربع السرعة

١٠٦ ولنبحث الآن عن تعيين الضغط الكلى الحادث من المائع على كل من وجهى الرقعة دد فنقول

حيث أن الضغط الحاصل على كل متر من الوجه الامامى يختلف قليلا عن $\text{ض}''$ فنجعل $\text{ض}_{٢}$ رمزا للضغط الواقع على الوجه المذكور يحدث $\text{ض}_{٢} = \text{ن}\,\text{ض}''$ اوانه يحدث باستخراج $\text{ض}''$ من معادلة (٢) المقررة فى البند المتقدم

$$\text{ض}_{٢} = \text{ن}\left(\text{ض} - \text{ط}\,(\text{س}'' - \text{س}) - ٢\,\text{ط}\,\frac{\text{ع}^{٢}}{٢\text{ج}}\left(\frac{\text{ع}''}{\text{ع}} - ١\right)\right) \quad (٧)$$

واذا رمز الى الضغط الكلى الحاصل على الوجه الخلفى من الرقعة دد بالرمز $\text{ض}_{١}$ يحدث

$\text{مق} = \text{ض}_{١} - \text{ض}_{٢}$ ومن هنا ينتج $\text{ض}_{١} = \text{ض}_{٢} + \text{مق}$

أو انه يحدث بابدال $\text{ض}_{٢}$ و مق بمقاديرهما (٧) و (٤)

$$\text{ض}_{١} = \text{ن}\left(\text{ض} - \text{ط}\,(\text{س}'' - \text{س}) + \text{ط}\,\frac{\text{ع}^{٢}}{٢\text{ج}}\left(\left(\frac{\text{ع}''}{\text{ع}} - ١\right)\right.\right.$$

$$\left.\left.\overline{\text{ن}}\left(\frac{\text{ع}''}{\text{ع}} - ١\right) - ٢\right)\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (٨)$$

ولم يبق علينا الآن نستبدل فى المقدارين $\text{ض}_{٢}$ و $\text{ض}_{١}$ الكمية $\frac{\text{ع}''}{\text{ع}}$ بمقدارها المستخرج من معادلة (٥) وهو

$$\frac{\text{ع}''}{\text{ع}} = \overline{\text{ن}} \times \frac{١}{\text{م}\,(\overline{\text{ن}} - ١)}$$

ولينتبه فى المعادلتين المذكورتين الى ان الجزء

$\text{ن}\left(\text{ض} - \text{ط}\,(\text{س}'' - \text{س})\right)$ هو ضغط التوازن للرقعة دد

المستخرج من الضغط ض الحادث على كل متر من القطع اب

وقد اطلق المهندس دوبوا فى مؤلفه الخاص بملحوظاته المقررة فى شأن مقاومة الماء على ضغط التوازن المذكور اسم ضغط السكون

واطلق على الجزء من المقدار $\text{ض}_{١}$ المحتوى على $\frac{\text{ع}^{٢}}{٢\text{ج}}$ اسم ضغط الحركة الحاصل

الحاصل على الوجه الخلفى واطلق ايضا على الكمية السالبة فى المقدار $ضـ_٢$ المشابهة للكمية المتقدمة اسم لاضاغط على الوجه الامامى من الرقعة فاذا كان مثلا $\frac{ــ}{ق} = ٤$ و $م = ٠٫٨٥$ و $سـ'' = سـ' = سـ$ يتحصل

$$ضـ_٢ = ق ضـ - ٢ \left(\frac{٤}{٢٫٥٥} - ١\right) ط ق \frac{ع^٢}{٢ح} = ق ضـ - ١٫١٤ \times ط ق \frac{ع^٢}{٢ح}$$

و

$$ضـ_١ = ق ضـ + ٠٫٥٧ \left(٤ \times ٠٫٥٧ - ٢\right) ط ق \frac{ع^٢}{٢ح} = ق ضـ + ٠٫١٦ ط ق \frac{ع^٢}{٢ح}$$

فى الضغط الحاصل على جسم مستدير من جزئه الامامى ومسطح من جزئه الخلفى

١٠٧ اذا امكن كما فى (شكل ٤٤) استبدال الرقعة دد بجسم مستدير ينعدم به الانضمام فانه يكفى جعل $م = ١$ فى الحساب المتقدم فاذن يكون

$$مق = لـ ط ق \times \frac{ع^٢}{٢ح} \quad و \quad لـ = \left(\frac{\overline{ق}}{\overline{ق} - ١}\right)^٢$$

فاذا جعل مثلا $\frac{ــ}{ق} = ٤$ يكون $لـ = ٠٫٤٤$

ويمكن فى الحقيقة اقتراب $م$ من ١ فاذا فرض مثلا $م = ٠٫٩٥$ يحدث من ذلك

$$لـ = ٤ \left(\frac{٢٠٫٤}{١٩٫٣} - ١\right)^٢ = ٠٫٦٥$$

فى الضغط الواقع من مائع على جسم اسطوانى طوله يساوى نحو ثلاثة امثال قطره

١٠٨ ليفرض لاجل مزيد السهولة أن الانبوبة افقية كما فى (شكل ٤٥) وليكن $عَ$ و $ضـَ$ رمزين الى السرعة والضغط الحاصل فى القطع $\overline{اَبَ}$ ولتكن كذلك $عً$ و $ضـً$ و $عٌ$ و $ضـٌ$ و $ع$ و $ضـ$ رموزا الى الكميات المشابهة للمتقدمتين فى القطوع $\overline{اً بً}$ و $\overline{اٌ بٌ}$ و $\overline{اب}$

فيحدث بتطبيق القواعد المنسوبة لتغيرات القطوع فى الانابيب

اولا من أبَ الى أبً

$$\frac{ضَ - ضً}{ط} = \frac{عً^٢ - عَ^٢}{٢ ح}$$

وثانيا من أبً الى أبٌ

$$\frac{ضً - ضٌ}{ط} = \frac{عٌ^٢ - عً^٢}{٢ ح} + \frac{(ع - عٌ)^٢}{٢ ح}$$

وثالثا من أبٌ الى أب

$$\frac{ضٌ - ضَ}{ط} = \frac{ع^٢ - عٌ^٢}{٢ ح} + \frac{(عٌ - ع)^٢}{٢ ح}$$

فبجمع هذه المعادلات والتنبيه على أن عَ = ع يحدث

$$\frac{ضَ - ضَ}{ط} = \frac{(عً - عٌ)^٢}{٢ ح} + \frac{(عٌ - ع)^٢}{٢ ح}$$

ثم اننا اذا رمزنا بالرمز مق الى محصلة القوى الحادثة من الجسم الاسطوانى على المائع واجرينا ما تقدم فى (بند ١٠٦) يحدث

$$مق = طـ \left(\frac{ضَ - ضَ}{ط}\right)$$

أو $$مق = طـ \left(\frac{(عً - عٌ)^٢}{٢ ح} + \frac{(عٌ - ع)^٢}{٢ ح}\right)$$

لكنه يحدث بمقتضى ما تقرر فى (بند ١٠٦) ايضا

$$ـع = م (ـ - ن) عً = (ـ - ن) عٌ$$

وبناء على ذلك يكون

مق = ك ط ن $\frac{ع^٢}{٢ ح}$ بجعل

$$ك = \frac{\overline{ن}}{(\overline{ن} - ١)^٢} \left((\overline{ن})^٢ (\frac{١}{م} - ١)^٢ + ١ \right)$$

فاذا

فاذا كان مثلا $\frac{\text{ت}}{\text{ن}} = ٤$ و $\text{م} = ٠{,}٨٥$ يكون

$$\text{لـ} = \frac{٤}{٩}\left(١٦\,(٠{,}١٧٦٥)^{٢} + ١\right) = \frac{٤}{٩} \times ١{,}٠٥ = ٠{,}٤٦٧$$

فى الضغط الحاصل على الاسطوانة المتقدمة مصحوبة بمقدم

١٠٩ اذا كان للاسطوانة المذكورة مقدم يقرب المكثر م من الواحد نقص مقدار لـ المتقدم وليكن $\text{م} = ٠{,}٩٥$ و $\frac{\text{ت}}{\text{ن}} = \text{لـ}$ فيتحصل

$$\text{لـ} = \frac{٤}{٩}\left(\frac{١٦}{(١٩)^{٢}} + ١\right) = ٠{,}٤٦٣$$

الحالة الثالثة فى الضغط الحاصل من مائع غير محدود على مقاومات متنوعة ثابتة فى حالة التحرك المنتظم

١١٠ ويظهر مما ذكر فى (بند ١٠٦) وفيما بعده من البنود أن لصورة الاجسام المغمورة فى مائع تأثير فى الانضغاطات الواقعة عليها من الموائع لكن لا يمكن استعمال هذه النظرية اذا كانت ابعاد الجسم صغيرة بالنسبة لقطع التيار وفى هذه الحالة لا يوجد قطع طوقى منضم مثل أَبً مَمَ الذى يمكن أن يسلم فيه ان للخيوط سرعا متساوية ومتوازية تقريبا وضغطا متوسطا مساويا للضغط الشمية الامامية

وفى هذه الاحوال يكون للخيوط المحولة عن اتجاهاتها الاصلية تحرك على منحن وقتى ومنحل واما الخيوط الاخر المتبعدة من الرقعة فتبقى على تحركها المنتظم المستقيم ومن ذلك ينتج أن الضغط الحاصل على الوجه الخلفى من المستوى دد كاف (شكل ٤٦) يكون اكبر من ضغط التوازن بخلاف الضغط الحاصل على الوجه الامامى فانه يكون صغيرا عنه

وقد دلت التجربة على أن صورة الخيوط باقية على حالة واحدة تقريبا فى جسم معلوم عند تغير السرعة فنتج من ذلك أن تغيرات الضغط الحاصلة فى جهتى الخلف والامام بمقتضى قانون القوة العمودية فى التحرك المنحنى مناسبة لمربع السرعة تقريبا

وقد دلت التجربة ايضا على انه متى كانت عدة اجسام صلبة متشابهة فى الصورة

والوضع مغمورة فى تيار غير محدود كان للخيوط المحنية صور متشابهة فيمكن أن يستنتج من ذلك أن الانضغاطات الخاصة بكل متر فى النقط المتناظرة واحدة

وبالجملة فنوع هذه الحوادث صعب بسبب تركيبه فلا يتعجب من كونه لم يوضع له الى الآن نظرية كافية ولانذكر من هذه الحوادث هنا الا اهمها نفعا

١١١ وقد عملت التجاريب بكيفيتين احداهما كانت الاجسام فيها متحركة تحركا منتظما فى حوضين كبيرين من الماء الراكد والثانية كانت الاجسام فيها ساكنة فى منتصف التيار وكان يظن انه يمكن تحصيل انضغاطات واحدة متى كانت سرعة الاجسام فى الحالة الاولى كسرعة التيار فى الحالة الثانية فى موضع انغمار الاجسام وقد اثبت المهندس دوبوا بالتجاريب أن ذلك خطأ اذا عملت التجربة فى نهير متوسط المقدار عوضا عن أن تعمل فى تيار غير محدود لانه وجد أن الضغط المتحصل يكون كبيرا فى التيار عما لو كان فى مائع ساكن غير انه اخطأ فى التعبير بقوله انه يظهر من الماء فى حالة السكون كثير من السهولة للانقسام وبناء على ذلك تكون المقاومة صغيرة عما لو كانت فى حالة التحرك لان قاعدة التحرك النسبية التى هى احدى القواعد الاصلية من علم التحرك لاتجوز هذا التعبير متى كان للجسم الكلى للماء الحاصل فيه انغمار الجسم تحرك انتقالى واحد غير أن هذا الشرط لا يتم فى المجارى التى عملها المهندس دوبوا التى كانت فيها سرعة الخيوط متغيرة مع الانتقاص من ابتداء منتصف سطح التيار الى محيط المرقد وفى ذلك كفاية لابطال مازعمه المهندس دوبوا لانه اذا فرض جسم ثابت مغمور على بعد صغير من منتصف السطح الذى هو موقع النهاية الكبرى لسرعة التيار كما فى (شكل ٤٧) وفرض أن ع هى سرعة خيط اتجاهه الاصلى مارا بمنتصف الجسم الثابت فلا تتغير السرعة النسبية اذا تصورنا أن للجسم سرعة ع فى جهة مضادة للتيار وطرحنا السرعة ع المذكورة من سرعة كل خيط فان الخيط

المركزى

المركزى يؤول بهذا الداعى الى حالة السكون لكن الخيوط التى كان لها سرعة اصغر
من السرعة ع يكون لها من الآن فصاعدا السرعة ع ــ عَ فى الجهة
المضادة اعنى فى الجهة التى يتحرك فيها الجسم المغمور لكن السرعة ع ــ عَ
المذكورة التى تزداد من ابتداء الجسم الى المرقد تقاوم تحرك المائع الذى يضطر
عند ما يكون شاغلا للمسافة التى قطعها الجسم الصلب فى تحركه ان يخرج
من حالة السكون جزأ بعد جزء بالتوالى لينتقل من الامام الى الخلف وبناء على
ذلك يلزم أن نوقع على الجسم المذكور لاجل أن يكون منتظم التحرك دائما
قوة اكبر منها فيما لو كان المائع كله ساكنا ماعدا ماجاور الجسم

١١٢ قد ادخل المهندس دوبوا فى التجربة اولا ثلاثة منشورات او ثلاثة
اشكال متوازية السطوح قائمة قاعدتها الرأسية العمودية على اتجاه
التحرك مربع قدر ضلعه ٣٢٥ر٠م وطوله الموازى للتيار ٩٠٠ر٠م
وثانيها ٣٢٥ر٠م وثالثها ٩٧٥ر٠ وقد اثبتها المهندس المذكور
فى تيار قدر سرعته ٩٧٥ر٠ فى محل انغمار المنشورات المذكورة

وبحث المهندس المذكور عن تعيين الانضغاطات الواقعة على نقط وجهى الخلف
والامام ثم بحث عن تعيين مقاديرها المتوسطة واستعمل فى ذلك ميزان ضغط
لا يتحقق به تعيين المقادير المتوسطة ولنجعل هـ رمزا الى سعة القواعد
و د رمزا الى عمق الماء فوق مراكزها و ع رمزا الى السرعة
فى هذا الموضع و ط رمزا الى ثقل كل متر مكعب من الماء و ضَ و ضً
رمزين الى الضغطين الكليين الحاصلين على وجهى الخلف والامام (بقطع النظر
عن ضغط الجو) و مق رمزا الى محصلة الضغطين المذكورين فيكون

$$\text{ضَ} = \text{ط هـ د} + \text{لَ} \times \text{ط هـ} \frac{\text{ع}^2}{2\text{ح}}$$

$$\text{ضً} = \text{ط هـ د} - \text{لً} \times \text{ط هـ} \frac{\text{ع}^2}{2\text{ح}}$$

ومنها ينتج $\text{مق} = \text{ضَ} - \text{ضً} = (\text{لَ} + \text{لً})\ \text{ط هـ} \frac{\text{ع}^2}{2\text{ح}}$

وقد وجد المهندس دوبوا المذكور للمنشورات الثلاثة لَ = ١٩ر١
واما لً الذى هو المكرر المنسوب للضغط الذى اطلقنا عليه اسم

لاضاغط فقد وجده متغيرا فكان مقداره ٧٦ر٠ فى الرقعة التى هى المنشور الاوّل و ٢٧ر٠ فى المكعب و ١٥ر٠ فى منشور طوله ثلاثة امثال ضلع المكعب وعلى ذلك فالمكرر لَ + لً المتعلق بحصلة الضغط يكون فى الاحوال الثلاثة ٨٦ر١ و ٤٦ر١ و ٣٤ر١

ووجد المهندس دوبوا المذكور عند تحرك الرقعة فى مائع ساكن أن لَ = ١ و لً = ٤٣ر٠

فظهر أن هذه المكررات تتغير مع السرعة وجعل المهندس المذكور للمكعب والمنشور بحسب رأيه لً = ١٧ و لً = ١٠ر٠

وحينئذ يحدث معنا للرقعة والمكعب والمنشور لَ + لً = ٤٣ر١ و ١٧ر١ و ١٠ر١

الحالة الرابعة فى الاجسام الطافية المنشورية ذات المقدم والمؤخر

١١٣ اذا جعل ﻫ رمزا الى سعة الجزء المغمور من القطع العمودى للمنشور كان قانون المقاومة بمقتضى التجربة ايضا

$$مق = لَ ط ﻫ \frac{ع^٢}{٢ ح}$$

فاذا كان مقدم المنشور مستطيلا وكان طوله من ثلاثة الى ستة ٧ ﻫ فعندما يتحرك الجسم فى مائع ساكن يحدث تقريبا

$$لَ = ١٠ر١$$

ويمكن أن يحصل بواسطة مؤخر حاد بالكفاية

$$لَ = ١$$

واذا كان للسفينة المنشورية مقدما حادثا امامن مستويين راسيين تحديبهما مساو لعرض السفينة أو من سطح اسطوانى رأسى قاعدته نصف دائرة فان المقاومة تؤول الى نصف ما تقدم تقريبا اى الى أن

$$لَ = ٥٠ر٠$$

فاذا كانت قاعدة المقدم مثلثا تحديبه ضعف عرض السفينة فان

لَ

لـ = ٠٫٠٤

واذا كان المقدم الحادث من امتداد وجهى السفينة الجانبين المقطوعين من الاسفل بمستو محدثا مع الافق ثلث زاوية قائمة فان المقاومة تؤول الى ثلث مقدارها اى الى لـ = ٠٫٣٣

فى الاجسام التى على صورة السفن

١١٤ اذا استعمل القانون المتقدم الذى فيه ق رمز الى سعة الجزء المغمور من القطع الاكبر للسفينة امكن أن يتحصل على رأى المهندس نافيير لمقدار لـ ٠٫١٦ وعلى رأى المهندس بونسليه ٠٫٢٢

فى السفن ذات المقادم والمآخر المنفرجة الجارية فى الخلجان

١١٥ قد اجرى المهندسان دوبويسون ومنييس تجربة على سفينة جارية فى خليج من خلجان فرانسا قطعها ق = ٦٫٨٤م وسرعتها ٠٫٨١٦٨م وحينئذ يكون $\frac{ع^٢}{٢ج}$ = ٠٫٠٣٤ فحدث لهما من هذه التجربة بواسطة قانون مق = لـ ط ق $\frac{ع^٢}{٢ج}$ المتقدم أن مق = ١٢٠ كيلوغراما وبناء على ذلك يكون لـ = $\frac{١٢٠}{٦٨٤٠ \times ٠٫٠٣٤}$ = ٠٫٥١٦ وحيث كان قطع الخليج ـ = ٢٦٫٥٥م ينتج أن $\frac{ـ}{ق}$ = ٣٫٨٨ ولاجل مطابقة هذا الناتج التجريبي لقانون (بند ١٠٨) يكفى جعل م = ٠٫٩٢٣ أو $\frac{١}{م}$ = ١٫٠٨

فحينئذ تكون صورة مقدار المكرر لـ فى مثل هذه الاحوال

$$لـ = \frac{\frac{ـ}{ق}}{\left(\frac{ـ}{ق} - ١\right)^٢}\left(١ + ٠٫٠٠٦٩\left(\frac{ـ}{ق}\right)^٢\right)$$

الحالة الخامسة فى انبوبة بيتو

١١٦ اذا غمر فى الماء انبوبة مفتوحة من طرفيها ومعوجة بحيث يكون طرف شعبتها الافقية مقابلا للتحرك النسبى للمائع كما فى (شكل ٤٨) فان المائع يرتفع فى الانبوبة فوق السطح الاعلى ق ق الى ارتفاع ء كان يظن انه مساو للارتفاع $\frac{ع^٢}{٢ج}$ المنسوب للسرعة النسبية وقد وجد

المهندس دوبوا عند تحرك انبوبة من الصفيح مقدار قطرها الخارج ٤٠ ر٠م
وطول شعبتها الافقية ٣٥ ر٠م وكانت هذه الشعبة مغمورة بقدر ٠٤١ ر٠م
تحت توازن الماء الراكد أن النسبة الساكنة بين د و $\frac{ع^2}{2ء}$ متغيرة مع
السرعة كما هو موضح بهذا الجدول

سرعة .... ٠٫٧٨ و ١٫٠٨ و ١٫٨٠م
نسبة د الى $\frac{ع^2}{2ء}$ ..... ١٫٢٢م و ١٫١١ و ١٫٠٣

ولا يمكن حينئذ الاعتماد على هذه الآلة فى قياس السرعة النسبية وانما يمكن
أن يعين بها مقدار تقريبى للسرعة المذكورة
ووجد المهندس دوبوا المذكور ايضا انه اذا وضعت انبوبة مستقيمة رأسية
مفتوحة الطرفين فى تيار كما فى (شكل ٩٤) فان رأس عمود الماء الموجود فى
الانبوبة ينخفض عن توازن الماء المحيط بالانبوبة المذكورة
وذلك حادث من انحناء الخيوط وازدياد سرعتها لتمر من تحت الانبوبة وقد اخطأ
المهندس دوبوا فى قوله أن ارتفاع العمود الداخل يدل على ضغط الماء فى المستوى
الافقى المار بالطرف الاسفل من الانبوبة وبنى على هذا الزعم قاعدتين غير
مضبوطتين وهما انه يحدث من المائع المتحرك تحركا مستقيما فى خليج على جانبى
هذا الخليج انضغاطات اصغر من الانضغاطات الحادثة منه لو كان ساكنا وان
سطح التيار يكون محدبا عرضيا

فى

فى الطارات المائية

الفصل الاول

تعريفات عامة تتعلق بالآلات

١١٧ الآلة على العموم عدة اجسام اوجملة اجسام مادية تحدث ببعض نقطها فى بعض اجسام خارجة عنها ا قوى معينة بسرع معلومة شدة واتجاها بواسطة اجسام اخر خارجة ب محدثة لبعض نقط اخر من الآلة المذكورة قوى مغايرة فى العادة للقوى المتقدمة بشدتها وبسرعة نقط وقوعها

١١٨ ويطلق تأثير الآلة على شغل القوى الحادثة منها المؤثرة فى الاجسام الخارجة ا ويكون هذا الشغل على العموم موجبا وقد لا يكون سالبا كما اذا استعمل العيار لنزول بعض المثقلات من اى ارتفاع مع البطئ وكما اذا استعمل البخار فى بعض الاحيان لتعطيل السرعة المكتسبة لسكة من العربات

وقد يحدث للآلة من مقاومة الاجسام ا الخارجة المعدة هى للتأثير فيها شغل سالب اومقاوم ويمكن أن يطلق على هذه المقاومة اسم المقاومة المقصودة لاجل تميزها عن القوى الاخر ذوات الشغل السالب الحادث من الاحتكاكات ومن التحركات الحادثة من غير نفع للهواء وللاجسام المحيطة بالآلة ومن تأثير اجزاء الآلة فى بعضها وهذه القوى المتنوعة الحادثة من طبيعة الاجسام التى لا يمكن اجتناب شغلها السالب غير المقصود اجتنابا كليا هى المعروفة باسم المقاومة غير المقصودة وقد اطلق بعض المؤلفين على المقاومة المقصودة اسم المقاومة المفيدة وعلى المقاومات الاخر اسم المقاومات غير المفيدة

١١٩ الاجسام ب المتقدمة فى (بند ١١٧) المؤثرة فى الآلة لاجل حصول اوادامة تحركها عند وقوع تأثير المقاومات المتنوعة عليها هى التى يتكون منها محرك الآلة وتحصل وظيفتها هذه بكيفيتين احداهما أن تنقد

جزأ من السرعة التى تكون لها (مثال ذلك طواحين الهواء وبعض طارات مائية يؤثر فيها الماء باصطدامه)

والثانية أن توصل توصيلا كليا اوجزئيا الى الآلة القوى التى اكتسبتها من التثاقل أو من مرونة السوائل أو من مرونة الجوامد أو من فعل اعصاب الحيوانات (مثال ذلك الطارات المائية المتحركة بثقل الماء والآلات المتحركة بالبخار او بالزنبلكات أو بالحيوانات)

١٢٠ وحيث كانت الآلة مركبة من جملة نقط مادية واقع عليها تأثير قوى خارجة وتأثيرات عنصرية تكون القواعد العامة لتحرك مثل هذه الجملة جارية فى كل آلة

وليكن $\text{ش}_\text{ح}$ رمزا الى الشغل الكلى للقوى الحادثة من المحرك مدة زمن معين و $\text{ش}_\text{م}$ رمزا الى الشغل الكلى الذى اطلق عليه فيما تقدم اسم تأثير الآلة فيكون — $\text{ش}_\text{م}$ حينئذ رمزا الى شغل القوى المكونة للمقاومة المقصودة المؤثرة فى الآلة

وليكن — شـ رمزا الى الشغل الكلى للمقاومات غير المقصودة مدة الزمن المذكور وهو شغل منسوب لاحتكاكات وارتجاجات الاجسام المحيطة ولاحتكاكات الآلة وتغير صور اجزائها

وليكن ث أو كم ح رمزا الى ثقل نقطة مادية من الآلة و $\underset{.}{\text{ع}}$ و ع رمزين الى سرعتيها الابتدائية والانتهائية فى الزمن المعتبر و ث رمزا الى الثقل الكلى للآلة و $\underset{.}{\text{ى}}$ و ى رمزين الى الرأسيين الابتدائى والانتهائى لمركز ثقل الآلة المذكورة تحت مستو ما افقى ثابت

فينتج من القضية العمومية المتعلقة بتأثير شغل القوى هذه المعادلة

$$\frac{1}{2}\,\text{كم ع}^2 - \frac{1}{2}\,\text{كم}\,\underset{.}{\text{ع}}^2 = \text{ش}_\text{ح} - \text{ش}_\text{م} - \text{شـ} + \text{ث}\,(\text{ى} - \underset{.}{\text{ى}})$$

ومنها يحدث تأثير الآلة

$$\text{ش}_\text{م} = \text{ش}_\text{ح} - \text{شـ} + \text{ث}\,(\text{ى} - \underset{.}{\text{ى}}) - \left(\frac{1}{2}\,\text{كم ع}^2 - \frac{1}{2}\,\text{كم}\,\underset{.}{\text{ع}}^2\right)$$

وهذا

وهذا قانون سهل التعبير

١٢١ فالحد شر يزداد فى القانون المذكور الى غير نهاية مع الزمن الذى يعتبر فيه تحرك الآلة وكذلك يزداد الحد شم مادام يقع على الآلة مقاومة مفيدة اى مادامت لا تدور على الفارغ واما حد ½ كم ع² فانه يصل سريعا الى مقدار لا يتجاوزه ومتى وصل اليه فانه لا يتغير فى الغالب الا قليلا بالابتداء من وقت وصوله الى هذه الغاية فاذا حسب بالابتداء من هذا الوقت أو بعده الزمن الذى ينسب اليه القانون المتقدم فان فرق ½ كم ع² − ½ كم ع٠² يكون متغيرا قليلا بين مقادير صغيرة يؤول امرها الى أن تكون مهملة بالنسبة للكميتين شر و شم المتزائدتين ومن هذا القبيل الحد ث (ى − ى) المنسوب لهبوط مركز ثقل الآلة ما لم تكن هذه الآلة انتقالية كعربة بخارية فان المقدار الحقيقى لهذا الحاصل يضاف فى هذه الحالة الى الشغل شح اذا هبط مركز الثقل ويكون مضافا الى شر اى الى شغل المقاومات المضرة اذا صعد مركز الثقل وحينئذ اذا حسبت حدود المعادلة المتقدمة بين وقتين متباعدين عن بعضهما بالكفاية فانه يمكن أن تؤول هذه المعادلة على وجه تقريبى جدا الى هذا القانون البسيط وهو

شم = شح − شر

وهو قانون شهير لاسيما بسبب كون القوى المؤثرة فى الآلة لا تظهر فيها مع الامتياز لكنها تكون فيها ممزوجة بالمسافات التى قطعتها نقط وقوعها وقد اطلق المهندس كورياليس على الخاصية الموجودة فى منطوق المعادلة اسم قاعدة توصيل الشغل

١٢٢ ويستخرج من ذلك نتيجة مهمة وهى أن الشغل المفيد الحادث من آلة يكون دائما اقل من الشغل الواصل لها من المحرك

١٢٣ اذا امكن فرض آلة مجردة عن الاحتكاك وغير واقع عليها مقاومة ما غير التأثير المفيد (وهو فرض سلمه المؤلفون فى بعض الاحيان بل بكثرة فى المباحث النظرية للآلات وذلك غير جائز) فان معادلة توصيل الشغل تؤول الى

شـ = شـ/ع

وقد أسس العامة على هذه المعادلة القاعدة المستعملة عندهم وهي انه بواسطة الآلة يكتسب من السرعة بقدر ما يفقد من القوة والاصوب أن يقال ان ما يفقد من القوة اكثر مما يكتسب من السرعة وذلك هو معنى التنبيه المذكور في (بند ١٢٢)

١٢٤ وينبغي لمزيد ايضاح التعريفات المتقدمة ان لا يقصد بلفظ تأثير الآلة الا المعنى المبين في تعريف (بند ١١٨) وانه لا ينبغي التباس هذا الشغل بالشغل الذي يمكن أن يطلق عليه بالخصوص اسم التأثير المفيد للآلة مثلا اذا كانت الآلة من آلات غرس الخوازيق واعتبر المكبس من ضمنها فان تأثير هذه الآلة المفيد ليس الا غرس الخازوق الذي يحتاج بالضرورة شغلا مساويا لشغل الاحتكاك وشغل مقاومة الارض واما تأثير الآلة فانه يتضمن زيادة على ذلك الشغل المستعمل بلا فائدة لتغير صورة رؤس الخوازيق وارتجاج الارض على ابعاد عظيمة من محل الغرس واذا كانت الآلة من آلات رفع المياه كالطلمبة فان الشغل المفيد لا يكون في هذه الآلة الا نزع كمية من الماء الى ارتفاع محصور بين توازن الماء في الحوضين وهذا النزع يحتاج بالضرورة لشغل مساو لثقل الماء المرفوع مضروبا في الارتفاع المذكور واما تأثير الآلة فهو الشغل الحادث من مكبس الطلمبة على المائع المماس ويحتوى زيادة عن ذلك على الشغل المنسوب لمقاومة الانبوبة وعلى السرعة الحادثة للماء وهذا الشغل يتعلق بطول الانبوبة وبقطرها

١٢٥ الآلة هي في العادة مركبة من اجزاء كثيرة متميزة الا انها مرتبطة ببعضها وأحد هذه الاجزاء المسمى بالقابل هو الذي يقع عليه تأثير المحرك واما الاجزاء الاخر المسماة باعضاء التوصيل فانها موجودة بين القابل والاجسام التي يقع عليها تأثير الآلة انظر (بند ١١٧)

١٢٦ ويمكن اعتبار كل جزء من آلة مركبة آلة لها محرك ومقاومة

مقصودة والواقع غالبا في حساب آلة أن يبتدء من القابل الى أن ينتهى الى جزء يسمى ما يليه من بقية الاجزاء صانعا وظائفه معينة بالتجربة التى تدل ايضا على السرعة الموافقة لبعض نقط منه وعلى شدة القوى التى يلزم توصيلها الى النقط المذكورة لاجل أن يكون الصانع المذكور مؤثرا بالانتظام

١٢٧ ولنشتغل فيما سيأتى بالكلام على الاهم من انواع القوابل المائية التى هى آلات معدة لقبول تأثير الماء المعتبر محركا ويجب أن يفهم من ذلك أن الشغل الكلى الحادث من القوى على الآلة بواسطة الماء المحرك موجب ولو كان الشغل الجزئى لبعض من القوى المذكورة سالبا لان الماء يحدث فى الغالب انضغاطات مقاومة على بعض اجزاء من الاوانى المحتوية عليه فى الطارات المائية

١٢٨ الماء المؤثر على قابل مايرد من خليج او من حوض علوى كما فى (شكل ٥٠) وينصب فى خليج آخر او حوض سفلى وليكن د فرق توازن الماء فى الحوضين مأخوذا فى النقطتين ا و اَ القريبتين من القابل وهذا الفرق هو المعروف بارتفاع السقوط

وليكن ث ثقل الماء المتصرف فى الثانية الواحدة و س سعة قطع التيار الحلقى فى اب و ع سرعة هذا التيار فى القطع المذكور و ف رمزا الى اج الذى هو بعد مركز ثقل ج عن السطح الاعلى للتيار المذكور سَ و عَ و فَ الكميات المشابهة للمتقدمة فى القطع ابَ الامامى ولنعتبر جملة الماء المحصور بين المستوى اب و ابَ ونرمز بالرمز ے الى الزمن الذى تنتقل فيه الجملة المذكورة من هذا الوضع الى وضع آخر قريب منه فيكون ازدياد الحدة فى الزمن ے

$$\frac{1}{2} \frac{ث ے}{ح} (عَ^{2} - ع^{2})$$

ويكون هذا الازدياد مساويا الشغل القوى الخارجة وشغل التأثيرات المادية

والقوى الخارجة هنا هي

اولا الضغط الخلفي الذي تكون شدته ط ف ب بقطع النظر عن ضغط الجو

ويكون شغله ط ف ع ب أو ...... ش ف ب

وثانيا الضغط الامامي الذي يكون شغله مساويا ..... ش فَ ب

وثالثا تأثير التثاقل الذي يكون شغله مساويا .... ش ب (د + فَ − ف)

ورابعا التأثيرات الحادثة من القابل على المائع التي هي مساوية ومضادة للانضغاطات الحادثة من المائع على القابل المذكور فاذا رمز لشغل هذه الانضغاطات في الثانية الواحدة بالرمز $\frac{\text{ش}}{\text{ع}}$ فان شغل القوى الحادثة للماء من القابل مدة ب يكون مبينا بكمية − ب $\frac{\text{ش}}{\text{ع}}$

فبجمع هذه الكميات الاربع واضافتها الى مجموع شغل التأثيرات العنصرية للمائع بين اب و اَبَ وشغل الاحتكاكات الخارجة الحادثة على المائع المذكور وهو مجموع نبينه بالرمز − ب ثه يحدث بعد حذف ب واختصار الحدود التي تعدم بعضها

$$\text{ش}\left(\frac{\text{عَ}^2}{2\text{ج}} - \frac{\text{ع}^2}{2\text{ج}}\right) = \text{ش د} - \frac{\text{ش}}{\text{ع}} - \text{ثه}$$

ومنها ينتج

$$\frac{\text{ش}}{\text{ع}} = \text{ش}\left(\text{د} + \frac{\text{ع}^2}{2\text{ج}} - \frac{\text{عَ}^2}{2\text{ج}}\right) - \text{ثه}$$

فيشاهد أن الشغل المحرك وهو $\frac{\text{ش}}{\text{ع}}$ الواصل الى القابل في الثانية الواحدة يكون دائما اقل من

$$\text{ش}\left(\text{د} + \frac{\text{ع}^2}{2\text{ج}} - \frac{\text{عَ}^2}{2\text{ج}}\right)$$

وهذه الكمية التي يهمل فيها عادة الجزء ش $\left(\frac{\text{ع}^2}{2\text{ج}} - \frac{\text{عَ}^2}{2\text{ج}}\right)$ هي المعروفة باسم الشغل الحقيقي للسقوط الذي يكون متصرفه ش كيلوغراما في الثانية الواحدة وارتفاعه د مترا ولنرمز الى الشغل المذكور بالرمز ثه وبذلك يمكن وضع المعادلة المتقدمة بهذه الصورة

شع

ثَعِ = ثَنِ ـ ثِ

الفصل الثانى

فى الطارات التحتيه ذات الكفات المستوية المحكمة الوضع فى مدار

١٢٩ هـذه الطارات هى المبينة صورتها (فى الشكل ٦٨ و ٦٩) فالشكل الاوّل يبين قطعها بمستوعمودى على محورها والثانى يدل على منظرها العرضى وقطع مدارها وهى تتركب من تاج مستدير ا مرتبط بالسهم بواسطة اذرع ح ح .... وحامل للكفات د د .... فالماء ينحدر على الكفات من المنفذ م م ومن تأثرها بالماء تدور على محورها ب فى المدار هـ هـ ويغلق المنفذ بباب يقال له باب الصرف ف ف وبهذا الباب ايضا يعاير المتصرف كما يراد فيشاهد كما هو مبين فى الشكل أن توازن الماء فى الحوض الاعلى المسمى بحوض الصرف هو ذ ذ والخليج ل ل يسمى بخليج التصرف وتوازن الماء فيه ذَ ذَ

ولاجل استكمال نظرية هـذه الطارات يلزم أن نبين جميع احوال مرور الماء بين الكفات ولنبدء ببيان الاهم من هذه الاحوال فنقول

اوّلا أن الماء يرد من الخلف تيارا افقيا كما فى (شكل ٥١) قطعه مستطيل وارتفاعه وهو اب يرمز له بالرمز د والى عرضه بالرمز ل ولجميع خيوط التيار المذكور سرعة مشتركة تقريبا نرمز لها بالرمز ع بحيث يكون المتصرف هـ للتيار فى الثانية الواحدة

هـ = ل د ع

وثانيا من وقت دخول احد الكفات فى التيار تكون المسافة المحصورة بين هذه الكفة والتى تليها فى التحرك مكوّنة لانية يدخل المائع فيها بواسطة التحرك النسبى الى أن تتصل الكفة الثانية بالمدار (ماعدا المسافة الكائنة بين محيط الكفات والمدار المعروفة باسم المفوت) فيكون مدخل الماء فى الانية مغلوقا تقريبا

وثالثا يمكن أن يكون فى هذا الوقت مخرج الماء فى جهة الامام مفتوحا وذلك يكون حاصلا اذا كان الجزء الاسطوانى للمدار ذا طول اقل من المسافة التى بين الكفتين المتتاليتين او كان قاع المدار مستويا وعماسا للاسطوانة المتكونة من دوران الاحرف المتطرفة للكفات ويؤخذ من ذلك أن المدخل والمخرج يكونان مفتوحين مدة من الزمن فى انية واحدة وهذا خطأ بين حيث يكون جزء من التيار مارا من تحت الطارة بدون أن يؤثر فيها

ورابعا اذا كان الجزء الاسطوانى للمدار يفوق مسافة كفتين متتاليتين وكان المفوت صغيرا جدا بقيت الانية مغلوقة مدة زمن وان كان صغيرا الا انه يكفى لان يؤول الماء فيه المظروف فى الانية الى سرعة متوسطة مساوية لسرعة الكفات وفى هذه الحالة يستوى الماء فى الانية تقريبا وبهذا يمكن حساب الارتفاع ف الذى هو بعد السطح الافقى عن قاع المدار فاذا رمز بالرمز و الى سرعة الكفات فى منتصف هذا الارتفاع فان منصرف الماء فى الثانية الواحدة يكون بقطع النظر عن سمك الكفات لـ ف و ويجعل ن رمزا الى بعد الكفات من وسط الى آخر و نَ رمزا الى سمك كل كفة يكون المنصرف مع مزيد الضبط

$$\text{هـ} = \text{ل ف و}\,\frac{\text{ن} - \text{نَ}}{\text{ن}}$$

ويمزج هذه المعادلة بمعادلة هـ = لـ د ع يحدث

$$\text{ف} = \frac{\text{ن}}{\text{ن} - \text{نَ}} \times \frac{\text{ع}}{\text{و}} \times \text{د}$$

فاذا كان مثلا

$$\text{نَ} = \frac{1}{21}\,\text{ن} \quad \text{و} \quad \text{ع} = 2\,\text{و}$$

ينتج

$$\text{ف} = \frac{21}{20} \times 2\,\text{د} = 2{,}1\,\text{د}$$

وخامسا حيث انه يكون للماء بالابتداء من الوقت الذى تفارق فيه اولى الكفتين المتتاليتين المدار سرعة مساوية لسرعة الكفات يستمر الماء المذكور بها

على

على سيره الافقى ويخرج بناء على ذلك من الطارة بتأثير السرعة المذكورة من غير احتياج الى أن يترك له سقوط فى جهة الامام ويمكن أن يكون التحرك الافقى للماء معطلا بالتحرك المستدير للكفات اذا كانت مستوياتها مارة بمحور الطارة غير انه يمكن تصغير هذا المعطل بجعل قطر الطارة عظيما

وسادسا المحل الذى يفترق فيه التيار عن الطارة بالسرعة ع َ المختلفة قليلا عن السرعة و اذا رمز فيه بالرمز د َ الى ا بَ الذى هو ارتفاع سطح الماء فوق قاع المدار حدث

هـ = ل ع د َ = ل د ع

ومنها ينتج د َ = د ع / ع َ وهو يختلف قليلا عن الكمية د ع / و

وسابعا ينشأ بالابتداء من ا بَ عن وضع خليج التصرف وعن وضع توازن الماء فى الحوض الاسفل بالقرب من الطارة احوال متنوعة يلزم بيانها وذلك لانه يمكن وصول الماء الخارج من الطارة الى الحوض الاسفل اما بانحدار محسوس أو غير محسوس أو بعكس الانحدار أو بنتو دفعى

١٣٠ ولنعتبر الآن ما يعترى التيار بالابتداء من المستوى حَ دَ الذى هو محل مدخله فى الطارة الى المستوى اَ بَ الذى هو محل مخرجه منها انظر (شكل ٥١) ونبحث عن تعيين الشغل الكلى الحادث فى الثانية الواحدة من التأثيرات والانضغاطات الحادثة من الماء على الطارة حتى وصل تحرك كل من التيار والطارة الى الحالة الدورية الانتظام ومدة الدورة هنا تساوى الزمن ـ الصغير جدا الذى تقطع فيه الكفة المسافة التى بين كفتين متتاليتين

ولاجل سهولة ذلك نقطع النظر عن سمك الكفات وزاوياتها المتغيرة مع الخط الرأسى ونفرض أن السرعة المتوسطة للماء عند خروجه من الطارة تكون مساوية لسرعة الكفات المأخوذة فى منتصف جزئها المغمور بالماء ثم نقطع النظر عن الاحتكاكات الحادثة للمائع من المدار وليكن ع َ رمزا الى سرعة خروج الماء من الطارة فى المستوى اَ بَ والرمز الى ارتفاع الماء فى هذا المستوى بالرمز د َ فيحدث

$$دَع = دع$$

فاذا تقرر هذا نعتبر المائع المحصور فى وقت ما بين القطعين اب و اَبَ المأخوذين على بعد يسير احدهما من خلف الطارة والآخر من امامها ثم بعد زمن ـ نعتبر أن المائع المذكور يكون محصورا بين القطعين حد و حَدَ وبجعل م رمزا لجسم المائع اب حد و اَبَ حَدَ يكون المقدار الجبرى لكمية تحرك المائع المحصور بين اب و اَبَ بعد الزمن ـ

$$م عَ ــ م ع$$

وهو مساو للمجموع الجبرى لدفعات القوى الخارجة الواصلة الى المائع المسقطة على المحور ب حَ الافقى

وهذه القوى الخارجة هى

اولا الضغطان الحاصلان على المستوى اب و اَبَ الخلفى والامامى اللذان يكونان مبينين بالكميتى ط $\frac{د}{٢}$ و ــ طَ $\frac{دً}{٢}$ مع قطع النظر عن ضغط الجو الذى يكون دفعه الكلى على الجملة معدوما ويكون دفع هذين الضغطين

$$\frac{ـط}{٢} (د ــ دَ)$$

وثانيا تأثيرات التثاقل التى مساقطها معدومة على المحور ب حَ الافقى

وثالثا مقاومات الكفات للمائع الضاغط لها فى الجهتين

ولتعيينها بجعل ق المقدار المطلق للمجموع الجبرى للمساقط او للمركبات الافقية للقوى المذكورة فتكون القوة ق هذه متجهة بالضرورة الى جهة مضادة للتيار ويكون دفعها مبينا بكمية ــ ق ـ واذن يحدث بقطع النظر عن الاحتكاكات الخارجة

$$م (عَ ــ ع) = \frac{طـ}{٢} (د ــ دَ) ــ ق ـ$$

وحيث كان م = $\frac{ثـ}{ح}$ يحدث بجعل ث رمزا الى ثقل المائع

المتصرف

المتصرف فى الثانية الواحدة

$$ن = \frac{ث}{ح} (ع - عَ) - \frac{ط}{٢} (ىَ - ى)$$

لكن هذه القوة هى عين مجموع المركبات الافقية للقوى الحادثة من المائع على الكفات فيمكن ان تجعل هذه القوة بدون خطأ محسوس محصلة للقوى المذكورة وأن يجعل لنقطة وقوعها السرعة عَ فاذن يكون مقدار الشغل المحرك الكلى الواصل من الماء الى الطارة المائية فى كل ثانية

$$شح = ن عَ$$

ومن هنا ينتج

$$شح = \frac{ث}{ح} عَ (ع - عَ) - \frac{ط}{٢} (ىَ عَ - ى عَ)$$

اوانه يحدث بسبب الارتباطات

$$ث = ط ىَ عَ \quad و \quad \frac{ى}{ى} = \frac{ى}{ىَ} = \frac{عَ}{ع}$$

أن الجزء الاخير من هذه المعادلة يصير بعد وضعه هكذا

$$\frac{ى}{٢} ط ىَ عَ (\frac{ى}{ى} - \frac{ى}{ى})$$

على هذه الصورة $\frac{ى ث}{٢} (\frac{ع}{عَ} - \frac{عَ}{ع})$

فيتحصل

$$شح = \frac{ث}{ح} عَ (ع - عَ) - \frac{ى ث}{٢} (\frac{ع}{عَ} - \frac{عَ}{ع}) \quad \cdots \quad (١)$$

وهو مقدار الشغل المحرك بالنسبة الى الكميات ث و ى و ع و عَ الاربعة

١٣١ وماذكره المؤلفون من النظريات فى شأن المسئلة التى نحن بصددها يوصل الى تحصيل ناتج بسيط وهو

$$شح = \frac{ث}{ح} عَ (ع - عَ) \quad \cdots\cdots \quad (٢)$$

وذلك راجع الى معادلة $\text{ق ب} = \text{م ع} - \text{م عَ}$ او

$$\frac{\text{ش ق}}{\text{ع}} = \text{ش} \left(\frac{\text{ع}^{٢}}{\text{٢ج}} - \frac{\text{عَ}^{٢}}{\text{٢ج}} - \frac{(\text{ع} - \text{عَ})^{٢}}{\text{٢ج}} \right)$$

وعدم ضبط هذا القانون حادث من اهمال زيادة الارتفاع التى يأخذها المائع بالضرورة عندما يفقد جزء من سرعته

فاذا فرض أن الحد $\frac{\text{ك ش}}{٢} \left(\frac{\text{ع}}{\text{عَ}} - \frac{\text{عَ}}{\text{ع}} \right)$ صغير جدّا بالنسبة الى $\frac{\text{ش}}{\text{ج}}\ \text{عَ}\ (\text{ع} - \text{عَ})$ وسلم أن هذه الكمية الاخيرة هى مقدار الشغل الواصل الى الطارة فى الثانية الواحدة فبالتنبيه على أن الحاصل $\text{عَ}\ (\text{ع} - \text{عَ})$ هو مربع رأسى لدائرة قطرها ع مقسوم الى قطعتين احداهما عَ والاخرى $\text{ع} - \text{عَ}$ لان السرعة ع تعتبر معلومة واما عَ التى هى سرعة الطارة فانها متعلقة بشدة المقاومة التى تقع عليها يشاهد أن النهاية الكبرى للحاصل $\text{عَ}\ (\text{ع} - \text{عَ})$ تكون $\frac{١}{٤}\ \text{ع}^{٢}$ وهو المقابل للسرعة $\text{عَ} = \frac{١}{٢}\ \text{ع}$ وانه يمكن أن تختلف عَ عن $\frac{١}{٢}\ \text{ع}$ بدون أن يحدث من ذلك خلل ظاهر فى النهاية الكبرى

فاذا كان $\text{عَ} = \frac{٤}{٩}\ \text{ع}$ أو $= \frac{٥}{٩}\ \text{ع}$ مثلا حدث عن ذلك $\text{عَ}\ (\text{ع} - \text{عَ}) = \frac{٢٠}{٨١}\ \text{ع}^{٢}$ ونسبته الى $\frac{١}{٤}\ \text{ع}^{٢}$ كنسبة ٨٠ الى ٨١

فيوجد حينئذ بالفرض المتقدم انه اذا احكمت المقاومة الواقعة على الطارة بحيث تكون سرعتها نصف سرعة الماء فان الشغل الواصل من الماء الى الطارة يكون قريبا جدّا من الكمية $\frac{١}{٤}\ \frac{\text{ش}}{\text{ج}}\ \text{ع}^{٢}$ التى هى نصف حدة الماء المتصرف فى الثانية الواحدة قبل الاصطدام او أن الشغل الواصل من الماء للطارة يكون نصف الذى وصل للماء من التثاقل لاجل اكتساب سرعته قبل الاصطدام

١٣٢ لا يمكن فى العمل اهمال الحد $\frac{\text{ك ش}}{٢} \left(\frac{\text{ع}}{\text{عَ}} - \frac{\text{عَ}}{\text{ع}} \right)$ لانه اذا كان ك صغيرا جدّا كانت الطارة عظيمة الاتساع وكان المفوت الذى يوجد بين المدار والكفات بعد ما جزأ عظيما من تأثير التيار

وتتعلق

وتتعلق النهاية الكبرى للكمية ش عند حسابها بواسطة معادلة (١) بالمتغيرين عَ و ء غير المتعلقين ببعضهما ولنفرض مثلا أن ء = ١٢ ر٠ $\frac{ع^٢}{٢ء}$ فتؤول معادلة (١) الى

$$ش = لَ ث \frac{ع^٢}{٢ء}$$

بجعل لَ = ٢ $\frac{عَ}{ع}$ (١ − $\frac{عَ}{ع}$) − ٠٦ ر٠ ($\frac{ع}{عَ}$ − $\frac{عَ}{ع}$) ، ، (٣)

ويشاهد في هذا الفرض أن النهاية الكبرى للكمية ش تقابل الكمية $\frac{عَ}{ع}$ = ٥٦ ر٠ التي يحدث منها لَ = ٤٢ ر٠ غير انه ينبغي التنبيه على أن تغير النسبة $\frac{عَ}{ع}$ تغيرا كليا يورث خللا قليلا في المقدار لَ حيث انه بجعل $\frac{عَ}{ع}$ = ٥٠ ر٠ يحصل أن لَ = ٤١ ر٠ وبجعل $\frac{عَ}{ع}$ = ٤٥ ر٠ يحدث أن لَ = ٣٩ ر٠

١٣٣ وقد نتج من التجاريب التي عملها المهندس اسماتون الانكليزي في شأن اريك طارة أن النهاية الكبرى للمقدار لَ = ٣٣ ر٠ فقط وهي تقابل مقدار الكمية $\frac{عَ}{ع}$ مساويا ٤٠ ر٠ تقريبا ويمكن أن يكون ذلك حادثا من أن قاع مدار طارة المهندس اسماتون المذكور نظرا لكونه مستويا يمر به جزء من الماء بدون أن يؤثر في الطارة أو أن السرعة المتوسطة للماء عند خروجه من الطارة تكون اعظم من سرعة الكفات وحيث كان الشغل المفقود بهذا الداعي متعادلا بسبب تناقص سرعة الطارة كان ذلك دليلا على أن النهاية الكبرى للكمية ش مقابلة للكمية $\frac{عَ}{ع}$ = ٤٠ ر٠ عوضا عن أن تكون ٥٠ ر٠ أو ٥٦ ر٠ فاذا جعلنا في معادلة (٣) $\frac{عَ}{ع}$ = ٤٠ ر٠ نجد أن لَ = ٣٥ ر٠ وذلك يختلف قليلا عن الناتج الذي أوجده المهندس اسماتون

١٣٤ والغرض من انشاء طارة مائية هو أن يوصل لها بواسطة سقوط معين اعظم ما يمكن من الشغل فيلزم حينئذ لاجل تكميل نظرية الطارات المائية أن يبحث عن فرق توازن حوضي الخلف والامام الموافق للكميات ع و ء و عَ و ءَ

باعتبارها معينة

فاذا فرض أن العرق المنحدر فى القطع ح د كما فى (شكل ٥١ و ٥٢) يخرج من الحوض الاعلى بواسطة منفذ تام الانفراج امكن أن يسلم أن توازن الماء فى الحوض المذكور يكون مرتفعا عن النقطة د بكمية مساوية $\frac{ع^2}{2ج}$ وزائدة بانحدار صغير لازم لحفظ السرعة ع من المنفذ الى دخول الماء فى الطارة

واما توازن الماء فى الحوض الاسفل فيمكن أن ينطبق على النقطة أ التى هى ارتفاع سطح التيار خلف الطارة مباشرة انظر (شكل ٥١ و ٥٣) ولا يمكن أن يتجاوز التوازن ذلك متى تغير قطع الحوض المذكور تغيرا دفعيا فى العمق والاتساع بعد القطع أبَ من دون عطل لسرعة الطارة

فيكون ارتفاع السقوط فى هذا الفرض $\frac{ع^2}{2ج} + ء - ءَ$ ويكون شغل الحقيقى

$$ش_{ق} = ث\left(\frac{ع^2}{2ج} + ء - ءَ\right)$$

وحيث كان $عَ = \frac{1}{2} ع$ فى الحالة الخصوصية التى فيها $ءَ = 2ء$

تؤول الكمية المذكورة الى $ش_{ق} = ث\left(\frac{ع^2}{2ج} - ء\right)$

واما الشغل الواصل الى الطارة فانه يكون

$$ش_{ع} = \frac{1}{2} ث\left(\frac{ع^2}{2ج} - \frac{3}{2} ء\right)$$

ومنها ينتج $$\frac{ش_{ع}}{ش_{ق}} = \frac{1}{2} \; \frac{\frac{ع^2}{2ج} - \frac{3}{2} ء}{\frac{ع^2}{2ج} - ء}$$

وهى نسبة تختلف قليلا عن النصف كلما تناقص ء بالنسبة الى $\frac{ع^2}{2ج}$

فاذا كان السقوط $\frac{ع^2}{2ج} - ء = ١ر٥٠$م وسمك العرق المنحدر على الطارة من جهة الحوض الاعلى $ء = ٠ر٢٠$

يحدث

يحدث أن $\frac{ش}{ق} = \frac{١}{٢} \frac{١٫٤٠}{١٫٥٠} = ٠٫٤٦٧$

١٣٥ ولننبه على انه اذا كان اقاع خليج التصريف امام النقطة ب الجدار صغير وكانت السرعة عَ عظيمة فان مآل هذه السرعة الى السرعة التى ينبغى وقوعها فى خليج التصريف يحصل بنتو دفعى وبناء على ذلك يكون السقوط بالنسبة الى مقادير معينة للكميتين ع و د اقل من مقداره الكائن فى هذا الفرض عن الحالة المتقدمة ولو كان ش باقيا على حاله وقد تقدم فى (بند ٩٠) ان قانون (٨) يستعمل لحساب ارتفاع هذا النتو فاذا رمز بالرمز دً الى ارتفاع الماء فوق قاع المدار بعد النتو مباشرة واهمل الفرق الصغير الموجود بين المكرر ق وبين الواحد فانه يحدث

$$دً = - \frac{١}{٢} دَ + \sqrt{\frac{١}{٤} دَ^٢ + ٤ دَ \frac{عَ^٢}{٢ج}}$$

١٣٦ ولنطبق هذا القانون على المقادير المجعولة مثالا فى (بند ١٣٤)

فمن $\frac{ع^٢}{٢ج} = ١٫٧٠$ و $عَ = \frac{١}{٢} ع$

يحدث $\frac{عَ^٢}{٢ج} = \frac{١٫٧٠}{٤}$

ومن $د = ٠٫٢٠$ و $دَ = ٢ د$

يحدث $دً = ٠٫٤٠$

وحينئذ يكون $دً = - ٠٫٢٠ + \sqrt{٠٫٠٤ + ٠٫٦٨} = ٠٫٦٤٨$

وينتج من ذلك انه اذا كان النتو حاصلا فى التيار عند الخروج من اسفل الطارة مباشرة فان ارتفاع السقوط المأخوذ بالابتداء من توازن الماء فى الحوض الاعلى الى توازن التيار فى خليج التصريف بعد النتو مباشرة يكون

$\frac{ع^٢}{٢ج} + د - دً$ أو $١٫٧٠ + ٠٫٢٠ - ٠٫٦٤٨ = ١٫٢٥٢$ م

بقطع النظر عن انحدار الجزء الذى بين المنفذ والطارة

١٣٧ ولاجل عدم تعطل تحرك الطارة ينبغى تبعيد النتو من الطارة

فى خليج التصريف

ويلزم ايضا أن يكون الماء فى هذه المسافة حافظا للسرعة ع َ وذلك يستلزم فى الامتداد المذكور أن يكون لخليج التصريف من ابتداء النقطة هـ الى حَ انحدار يسهل حسابه بواسطة قانون التحرك المنتظم وهو

نق ر = وع + وَع^٢

وقد تقدم فى مثال (بند ١٣٦) أن $\frac{ع^2}{٢ح}$ = ٠٫٤٢٥م ومنه يحدث المقدار عَ = ٢٫٨٩م الذى ينتج من وضعه عوضا عن ع فى قانون التحرك المنتظم

نق ر = ٠٫٠٠٣١٢

فاذا فرض أن عرض القاع متر واحد بحيث أن عمق التيار فى الجزء هـ حَ المعتبر ءَ = ٠٫٤٠ يحدث

نق = $\frac{ءَ}{ح}$ = $\frac{٠٫٤٠}{١٫٨}$ = $\frac{٢}{٩}$

فاذن يكون ر = ٠٫٠٠٣١٢ × $\frac{٩}{٢}$ = ٠٫٠١٤م

ويلزم أن يكون هذا الانحدار واقعا فى مسافة متر ونصف من الطول فيكون الانحدار الكلى ٠٫٠٢

وقد ذكرنا انه يلزم ايضا أن يوجد انحدار للجزء الذى بين المنفذ والطارة وحيث كانت فى هذا الموضع سرعة الماء ضعف السرعة عَ لزم للكمية نق ر مقدار يكون اربعة امثال المتقدم تقريبا واما نق فانه يكون فى هذه الحالة مساويا $\frac{٠٫٢٠}{١٫٤٠}$ = ٠٫١٤ ومن ذلك يحدث أن

ر = ٠٫٠٨٩

وبامالة باب التصرف بقدر ٤٥° تؤول المسافة المذكورة الى ٠٫٧٥م فيكون الانحدار المفقود فى الجزء المذكور ٠٫٠٦ تقريبا

وينتج من ذلك أن ارتفاع السقوط يكون بالابتداء من سطح الماء فى الحوض الاعلى الى سطح التيار بعد التقوّم مباشرة ١٫٢٥ + (٠٫٠٦ + ٠٫٠٢)

=

ب = ١٫٣٣ عوضاعن أن يكون = ١٫٢٥٢

فاذن يكون الشغل الحقيقى لسقوط الماء فى الثانية الواحدة شق = ١٫٣٣ ث من الكيلوغرامترات واما الشغل الواصل الى الطارة فانه يكون كما ذكر فى (بند ١١٩)

شح = ½ ٠٫٤٠ ث من الكيلوغرامترات

فيوجد معنا حينئذ لنسبة الشغل الواصل للطارة والشغل الحقيقى للسقوط

$$\frac{شح}{شق} = \frac{٠٫٧٠}{١٫٣٣} = ٠٫٥٢$$

١٣٨ وباتباع الاعتبارات المتقدمة يتنبه الى أن السرعة عً الواقعة بعد الشق قد تكون اكبر من السرعة اللازمة لحالة الانتظام فى خليج التصريف بحيث كان فى المثال المتقدم عَ = ٢٫٨٩ تكون

$$عً = \frac{بَعَ}{ى} = ٢٫٨٩ \times \frac{٠٫٤٠}{٠٫٦٤٨} = ١٫٧٨$$

فتكفى هذه السرعة لتحرك الماء بعكس انحداره فى خليج التصريف

ولاجل بيان حساب عكس الانحدار المذكور بمثال يفرض أن لقاع خليج التصريف بالابتداء من النقطة حَ منه انحدار يساوى $\frac{١}{١٥}$ وان له وسعا ثابتا قدره متر واحد فيلزم حينئذ أن نطبق على ذلك معادلة (٣) المذكورة فى (بند ٨٢)

فاذا جعل فى هذه المعادلة م = $\frac{١}{١٥}$ ى و ى = ١ و ح = ١ + ٢ ى

و ب = ى فان فاى = $\dfrac{ى - ٢ ى \frac{وع^٢}{٢ج}}{\frac{١}{١٥} ى - (١ + ٢ى)(وع + وعَ^٢)}$ فاى

ولنجعل الازدياد ى فى مبدء الامر ٠٫٠٥ ثم نجعل ذلك الازدياد مساويا

٥٠ ١,٠م بالابتداء من المقدار ٠,٦٥ الذى نجعله مقدارا للعمق ءً عوضا عن ٠,٦٤٨ ولاجل حساب المقادير المتوالية للسرعة ع المقابلة للمقادير المتوالية للارتفاعات ء ننبه على أن متصرف التيار يساوى

عَ سَ = عَ ءَ = ٢,٨٩ × ٠,٤٠ = ١,١٥٦ فى الثانية الواحدة

فحينئذ يكون مقدار السرعة ع = ١,١٥٦ / ء فى القطع الذى فيه اى ارتفاع مبين بالرمز ء ولنفرض لاجل مزيد التسهيل آن المكرر ه مساو للواحد وبذلك مع الجداول المفيدة لكل مقدار من مقادير السرعة ع مقادير الارتفاع المنسوب لها ع٢ / ٢ج ومقادير الدالة ع + وَ ع٢ يسهل وضع هذا الجدول

١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩	١٠	١١	١٢
ى اعماق متوالية	وع = ١,١٥٦ / ى	وع² / ٢ى	بسط ط = ى ــ ٢ وع² / ٢ى	هـ = وع + وَعَ²	هَ = (١+٢ى)هـ	المقام ن = ١/١٥ ى ــ هَ	فاى / فاى = ط / ن	اطوال جزئية ف ى	اطوال كلية ى بالابتداء من الاصل	انحدار كلى للقاع فى الاطوال ى	عكس انحدار سطح الماء
٠,٦٥	١,٧٧	٠,١٥٩٧	٠,٣٣٠٦	٠,٠٠٠١١٨٨	٠,٠٠٢٧٣٣	٠,٠٤٠٦	٨,١	٠,٤٤	٠,٠٠	٠,٠٠٠	٠,٠٠٠
٠,٧٠	١,٦٥	٠,١٣٨٨	٠,٤٢٢٤	٠,٠٠٠١٠٣٥	٠,٠٠٢٤٨٤	٠,٠٤٤٢	٩,٦	١,٠٦	٠,٤٤	٠,٠٢٩	٠,٠٢١
٠,٨٠	١,٤٤	٠,١٠٥٧	٠,٥٨٨٦	٠,٠٠٠٠٧٩٣	٠,٠٠٢٠٦٢	٠,٠٥١٣	١١,٥	١,٢١	١,٥٠	٠,١٠٠	٠,٠٥٠
٠,٩٠	١,٢٨	٠,٠٨٣٥	٠,٧٣٣٠	٠,٠٠٠٠٦٣٠	٠,٠٠١٧٦٤	٠,٠٥٨٢	١٢,٦	١,٣٠	٢,٧١	٠,١٨١	٠,٠٦٩
١,٠٠	١,١٦	٠,٠٦٨٦	٠,٨٦٢٨	٠,٠٠٠٠٥٢٠	٠,٠٠١٥٦٠	٠,٠٦٥١	١٣,٣	١,٣٥	٤,٠١	٠,٢٦٧	٠,٠٨٣
١,١٠	١,٠٥	٠,٠٥٦٢	٠,٩٨٧٦	٠,٠٠٠٠٤٢٩	٠,٠٠١٣٧٢	٠,٠٧٢٠	١٣,٧	١,٣٩	٥,٣٦	٠,٣٥٧	٠,٠٩٣
١,٢٠	٠,٩٦	٠,٠٤٧٠	١,١٠٦٠	٠,٠٠٠٠٣٦٠	٠,٠٠١٢٢٤	٠,٠٧٨٨	١٤,٠	١,٤٢	٦,٧٥	٠,٤٥٠	٠,١٠٠
١,٣٠	٠,٨٩	٠,٠٤٠٤	١,٢١٩٢	٠,٠٠٠٠٣١١	٠,٠٠١١٢٠	٠,٠٨٥٥	١٤,٣	١,٤٣	٨,١٧	٠,٥٤٥	٠,١٠٥
١,٤٠	٠,٨٣	٠,٠٣٥١	١,٣٣٩٨	٠,٠٠٠٠٢٧٢	٠,٠٠١٠٣٤	٠,٠٩٢٣	١٤,٤		٩,٦٠	٠,٦٤٠	٠,١١٠

وهذا الجدول تدل فيه اعداد الخانة التاسعة على الابعاد الجزئية الموجودة بين النقط التى للعمق فيها مقادير مبينة فى الخانة الاولى واما الخانة العاشرة فانها تفيد الاطوال ى بالابتداء من النقطة حَ من خليج التصريف وهى التى عمق الماء فيها يساوى ٦٥ ر٠م واما اعداد الخانة الحادية عشر فانها تحصل من ضرب الخانة العاشرة فى الانحدار $\frac{1}{١٥}$ وكل من اعداد الخانة الثانية عشر يحصل من اعداد الخانة الاولى والحادية عشر وحيث كان الانحدار الكلى مثلا مساويا ٣٥٧ ر٠م فى النقطة التى عمق الماء فيها ١٠ ر١م وهى التى تزيد بقدر ٤٥ ر٠م ارتفاعا على نقطة الاصل حَ ينتج من ذلك للانحدار لوجه الماء

٤٥ ر٠ — ٣٥٧ ر٠ = ٠٩٣ ر٠

وبهذا يشاهد انه اذا جعلنا الخليج التصريف طولا قدره ٦٠ ر٩م وانحدارا فى هذا الطول قدره ٦٤ ر٠م فانه يحدث لنا فى سطح الماء عكس انحدار قدره ١١ ر٠ بعد التتو وحينئذ يؤول ارتفاع السقوط الى ٢٢ ر١م عوضا عن ٣٣ ر١م فيكون شغله الكلى ٢٢ ر١م ث كيلوجرامتر فتكون نسبة الشغل المحرك الى الشغل الحقيقى المذكور

$$\frac{شـ_ع}{شـ_ق} = \frac{٠٫٧٠}{١٫٢٢} = ٠٫٥٧$$

١٣٩ وسنذكر فى الفصول الآتية طارات اخرا كثر نفعا من التى تقدمت ولم ندقق فى هذه الطارات المتقدمة الا بسبب الفائدة النظرية الحادثة عنها وبسبب أن كثيرا من الاحوال المذكورة فى هذه الطارات يقع فى الطارات التى سنذكرها فحينئذ لا ينبغى عمل هذه الطارات الا عند الاضطرار اليها فينتج من النظريات المتقدمة انه يلزم لاجل عمل طارة تحتية ذات كفات مستوية على مسقط من الماء قدر ارتفاعه ٢٢ ر١م مثلا

اوّلا أن يوضع قاع المنفذ قريبا من الطارة مهما امكن وأن يكون منحطا عن توازن الماء فى الحوض الاعلى بقدر ٩٠ ر١م أو بقدر ٦٨ ر٠م عن سطح الماء فى الحوض الاسفل وان لم يكن لعرق الماء الخارج من اسفل باب التصريف الاسمك قدره ٢٠ ر٠م عندما تصل الطارة الى تحركها المنتظم

وثانيا

وثانياً أن يكون لقاع المدار الذى بين باب التصريف والطارة انحدار قدره ٠٦ر٠م على امتداد قدره ٧٥ر٠م .

وثالثاً ان يقعر القاع المذكور بعد ذلك بصورة اسطوانية متحدة المحور مع الطارة على طول يكون بالاقل ضعف المسافة التى بين كفتين متتاليتين

ورابعاً أن يكون لقاع خليج التصريف امام الطارة انحدار كلى قدره ٠٢ر٠ على طول قدره ٥٠ر١م ثم يكون له انحدار قدره $\frac{1}{15}$ فى امتداد قدره ١٠٠م

وخامساً انه لا ينبغى توسيع خليج التصريف دفعة فى الجزء الاخير منه اذا كانت المواضع لا تمنع ذلك فيكون توسيعه بالتدريج مثلا بقدر $\frac{1}{12}$ من الطول فى كل جانب

وسادساً أن يكون للطارة قطر كبير بالكفاية بحيث تكون الكفات عند دخولها فى التيار وخروجها منه باقية رأسية تقريباً ويؤخذ من ذلك أن هذا القطر يتعلق بالانفراج الرأسى للمنفذ

وسابعاً انه يكيف توصيل التحرك فى المعمل بحيث انه متى وصلت سرعة الآلة الصانعة الى السرعة الموافقة لوظيفتها كان لمحيط الكفات المتوسطة سرعة متوسطة تساوى نصف سرعة الماء عند خروجها من المنفذ فتكون هذه السرعة فى المثال المتقدم ٨٩ر٢م فى الثانية الواحدة

وفى هذا المثال كفاية لبيان الطريقة التى يلزم استعمالها فى اى حالة

ومقدار ٥٧ر٠ للنسبة $\frac{\text{شح}}{\text{وشه}}$ هو بالتقريب ضعف المقدار ١٤٠ر٠

الذى وجده المهندس اسماتون واستعمله الى الآن المشهور من المهندسين لكنه ينبغى التنبيه على أن التجاريب لم تكن عملت على طارات مصنوعة بمقتضى القواعد التى قررناها وقد استصوبنا تنقيص النسبة المذكورة ربعاً بحيث يؤول مقدارها الى ٤٣ر٠ فى الطارات التحتية ذات الكفات المنسوبة المصنوعة

على مقتضى الكيفية التى ذكرناها فيكون الفرق الذى يمكن حصوله بين الحاصل العملى والحاصل النظرى ناتجا من المفوت الذى بين الطارة والمدار ومن عدم استمرار الكفات على وضع رأسى مدة انغمارها فى التيار ثم من مقاومة الماء الذى ترفعه الطارة فى جهة خليج التصريف

الفصل الثالث

فى الطارات التحتية ذات الكفات المنحنية

|١٤١| وصغر نسبة $\frac{ع}{ق}$ فى الطارات التحتية ذات الكفات المستوية

حادث بالخصوص من الشغل السالب العنصرى الحاصل من كون الماء مجبورا على أن سرعته تؤول دفعة واحدة الى سرعة الكفات مع أن مركز ثقله لا يكون مرتفعا عند ذلك الا قليلا جدا

وقد بحث المهندس بونسليه عن اجتناب هذا الضرر مع ابقاء الطارة تحتية بمعنى أن الماء يكون مؤثرا فيها من اسفلها فذكر انه ينبغى ايراد الماء بحيث لا يصدم الطارة عند دخوله بها ولا فى داخلها ولا عند خروجه ويخرج منها بسرعة ضعيفة ما امكن ولاجل استيفاء هذه الشروط المثبتة اهميتها بالقانون العام المقرر (بند ١٣٢) ابدل المهندس المذكور الكفات المستوية بكفات منحنية اى اسطوانية يتجه تقعيرها جهة التيار

|١٤٢| وكيفية وضع الطارة المذكورة على رأى المهندس بونسليه هى كما فى (شكل ٧٠) المبين لقطعها الرأسى ومسقط مدارها

أن يجعل قاع الحوض الاعلى افقيا تقريبا متصلا بقاع مداره انحدار محصور بين $\frac{١}{١٠}$ و $\frac{١}{١٥}$ بالابتداء من المنفذ الى محيط الطارة الخارج الذى يكون مماسا لذلك المدار ماعدى المفوت الذى لا بد منه

وبالابتداء من القطر العمودى على المستوى المماثل لقاع المدار تجعل الكفات

معشقة فى جزء اسطوانى متحد المحور مع الطارة ذى انفراج يساوى مسافة كفتين متتاليتين زائدة ٠٥ر٠ أو ٠٦ر٠ ويكون هذا الجزء الاسطوانى منتهيا بتعمق دفعى رأسه فى توازن المياه المتوسطة فى خليج التصريف والغرض من هذا التعمق سهولة خروج الماء من الطارة

ويكون باب التصريف مائلا تحت الطارة ميلا قاعدته ١ أو ٢ وارتفاعه ٢ وتكون الجهتان الرأسيتان للمنفذ مستديرتين فى داخل حوض الصرف وبذلك ينقص الانضمام ويكون مكرر التصريف محصورا بين ٠٨٠ر٠م و ٠٧٥ر٠م بحسب ميل باب التصريف مع الخط الرأسى

وحيث كان وسع المدار مساويا لوسع المنفذ فان العرق السائل لا يفترق عن جهتى المدار الرأسيتين كما قد يحصل ذلك فى مبدأ الموصلات الاسطوانية وبهذا يجتنب حصول شغل عنصرى سالب مشابه للشغل الذى يحصل فى مبدأ الموصلات المذكورة

وتكون الكفات مرتبطة ببعضها ومحصورة بين تاجين طوقيين مركبين على عدة من الاذرع ومعدين لمنع المياه عن الخروج من جوانب الطارة ويكون وسع هذين التاجين مساويا لثلث ارتفاع السقوط كما سيأتى اثبات ذلك فى (بند ١٤٧)

ويجعل الوسع الداخلى الذى بين التاجين المذكورين اعظم من وسع المنفذ بكمية من ٠٦ر٠م الى ١٠ر٠م ومن قاع المدار الذى تكون جهتاه رأسيتين من المنفذ الى تقابلهما بمحيط الطارة ثم ينفرجان فيما بعد لكى يدور التاجان بدون معارض وبدون أن يخرج الماء من جوانب الطارة

ويكون انحناء الكفات حيث ما اتفق الا انه يجب أن يكون مستمرا ومقابلا للمحيط الخارج على زاوية قدرها ٣٠° تقريبا ومقابلا للمحيط الداخل على زاوية قدرها ٩٠° تقريبا ويجعل هذا الانحناء فى العاده مستديرا

ويكون عدد الكفات عادة ٣٦ فى الطارات التى قطرها من ثلاثة امتار الى اربعة و ٤٨ فى الطارات التى يكون قطرها من ستة امتار الى سبعة

١٤٣ النظرية الصحيحة فى شأن هذه الطارة صعبة جدا بالنظر الى المعارف العلمية الموجودة بعصرنا هذا فيلزم تسهيلها بواسطة بعض فروض وذلك ان يعتبر الجزء المائع الذى يدخل بين كفتين متتاليتين نقطة مادية او جسما صلبا صغيرا لا يحصل له احتكاك ما

وأن يفرض ايضا أن المماس لمنحنى حافة الكفة ينطبق على مماس المحيط الخارج للطارة وكذلك على اتجاه سرعة الماء

وليكن ع سرعة الماء و عَ سرعة المحيط الخارج للطارة فبمقتضى ذلك يرد الماء على الكفة بدون مصادمة ويكون له عليها سرعة نسبية قدرها ع ـ عَ فاذا فرضنا أن قطر الطارة كبير بالكفاية بحيث يكون تحرك الكفات تحركا انتقاليا منتظما افقيا فانه يمكن اجراء قواعد التحرك الحقيقى على التحرك النسبى للجسم الصلب الكائن على الكفة

وبذلك يرتفع الجسم المذكور على الكفة ارتفاعا قدره $\frac{(ع - عَ)^٢}{٢ج}$ ثم يهبط ويكون له عند عوده الى نهاية الكفة السرعة ع ـ عَ النسبية لكن فى جهة مضادة لجهة تحرك الطارة فاذن تكون السرعة و الحقيقية التى له عند افتراقه من الطارة عَ ـ (ع ـ عَ) أو ٢ عَ ـ ع فاذن يكون مفقود حدة الجسم المذكور من منذ دخوله الى وقت خروجه

$$\frac{١}{٢} \frac{ث}{ج} \left(ع^٢ - (٢ عَ - ع)^٢\right) \text{ أو } \frac{٢ث}{ج} (ع - عَ) عَ$$

بجعل ث رمزا الى ثقل الجسم المتقدم

وحيث انه لا يقع بمقتضى الفرض على الجسم المتحرك احتكاك ولا شغل مقاوم عنصرى ينتج أن مفقود الحدة المذكور يساوى الشغل الواصل له من الكفة فيكون مساويا للشغل المحرك الواصل منه للكفة وحينئذ اذا كان ث رمزا لثقل الماء المتحرك المتصرف فى الثانية الواحدة و $\frac{ش}{ح}$ رمزا للشغل الواصل منه للطارة فانه يحدث

$$\frac{ش}{ح} = \frac{ث}{ج}٢ (ع - عَ) عَ$$

وحيث

وحيث أن نهايته الكبرى مقابلة $\acute{ع} = \frac{1}{2}$ ع تكون

$$ش_ع = ث = \frac{ع^2}{2ء}$$

اعني انها تكون مساوية لحدة المائع عند دخوله فى الطارة

١٤٤ وهنالك احوال تمنع حصول ماذكر فى العمل لان النظرية المتقدمة تقتضى أن الماء يدخل فى الطارة بدون مصادمة للكفات ويخرج منها بسرعة متجهة الى جهة مضادة لجهة سرعة محيط الطارة فهذان الشرطان يستحيلان فى العمل بسبب سمك التيار المحرك واستمراره

وليكن ا نقطة دخول خيط فى الطارة بسرعة ع مبينة شدة واتجاها بالمستقيم ام كما فى (شكل ٥٤) ولتكن $\acute{ع}$ التى هى سرعة محيط الطارة مبينة ايضا شدة واتجاها بالمستقيم اا' فيرى بالسهولة أن السرعة النسبية التى يدخل بها الخيط فى الطارة تكون مبينة ايضا مقدارا واتجاها بالمستقيم اب المساوى للمستقيم ا'م والموازى له وهذا الاتجاه اب هو الذى يلزم أن يكون للجزء الاول من الكفة لاجل اجتناب اصطدام الخيط المذكور مع الكفة لكن حيث كان الاتجاه المذكور غير موافق للخيوط التى توجد فوقه وتحته يفرض لسمك الماء الوارد للطارة حينئذ حد متوسط

ويتعلق سمك تيار الماء بالانفراج الرأسى للمنفذ الذى يلزم أن يكون مقداره بمقتضى التجربة من ٠ر٢٠ الى ٠ر٣٠ فى السقوط الذى مقداره من متر ونصف الى مادونه ومن ٠ر٠٨ الى ٠ر١٢ فى السقوط الذى مقداره من مترين الى مافوقهما

١٤٥ وحيث ذكر فى (بند ١٤٣) ان الزاوية ب اا' التى بين الكفة والمحيط الخارج تكون فى العمل 30° تقريبا ينتج من ذلك ان يكون للماء عند خروجه من الطارة سرعة نسبية يحدث منها مع السرعة الحقيقية للمحيط زاوية قدرها 150° كما فى (شكل ٥٥) فتكون السرعة و الحقيقية للماء عند خروجه محصلة للسرعتين المذكورتين بفرض أن كلاهما

مساوية $\frac{1}{2}$ ع فاذن يحدث و = غ جتا ٧٥° أو

و = ٠,٢٥٩ ع أو و^2 = ٠,٠٦٧ ع^2

وبناء على ذلك يخرج الماء من الطارة مفروضا نقطة مادية مجردة عن الاحتكاك بجدة قدرها ٠,٠٦٧ من الحدة التي كانت له عند الدخول

١٤٦ وحيث كانت و التي هي سرعة الخروج صغيرة واتجاهها رأسي تقريبا لا يمكن استعمالها لنتو متصاعد او لعكس انحدار في خليج التصريف وهذا هو سبب لزوم التعمق السريع الذي اوصى به المهندس بونسليه

١٤٧ وقد شوهد بمقتضى الفرض المذكور في (بند ١٤٣) أن الجسم المحرك يرتفع في تحركه النسبي على الكفة ارتفاعا قدره $\frac{(ع - عَ)^2}{2 ج}$ فتؤول هذه الكمية الى $\frac{1}{4}$ $\frac{ع^2}{2 ج}$ متى جعل عَ = $\frac{1}{2}$ ع ومن ذلك استنتج المهندس بونسليه أن بعد المحيطين اللذين توجد بينهما الكفات يكون بالاقل ربع الارتفاع الكلي للسقوط ويلزم أن يكون بالبداهة متزايدا بحسب سمك التيار قبل دخوله في الطارة وحينئذ يليق اضافة السمك المذكور الى ربع ارتفاع السقوط لاجل تحصيل ارتفاع الكفات

١٤٨ ويلزم عوضا عن ان يفرض أن الماء المحرك في كل كفة نقطة مادية مجردة عن الاحتكاك أن يبحث عن التحرك الحقيقي للماء المذكور مع اعتبار احتكاك الكفات وتأثير عناصر المائع الذي لا يمكنه أن يصعد و يهبط بتحرك مشترك كجسم صلب وربما لزم في بعض الاحيان اعتبار مقاومة الجو الذي يمكن أن يقاوم المائع عند صعوده

وخلل النظرية المتقدمة في (بند ١٤٣) يكفي لبيان الفرق بين الحواصل الناتجة منها والحواصل الحادثة من التجربة

وذهب المهندس موران الى أن الشغل الواصل (شع) الى طارة تحتية ذات كفات منحنية يساوي ٠,٦٥ من الشغل الحقيقي (شق) للسقوط متى كان ارتفاع السقوط المذكور من متر ونصف الى مادونه وتؤول

النسبة المذكورة الى ٦٠ر٠ وتارة الى ٥٠ر٠ فى السقوط الذى يكون اكبر من المتقدم فتكون هذه الطارة بالضرورة احسن من الطارات التحتية ذات الكفات المستوية وان كانت مصنوعة بمقتضى ما تقرر فى الفصل المتقدم

الفصل الرابع

فى الطارات ذات المدار المستدير المعروفة بالطارات الجبلية

١٤٩ تدور هذه الطارات فى مدار قاعه مستدير ومبدأ استدارته من نقطة قريبة من سطح ماء الحوض الاعلى وهى نقطة يدخل من فوقها الماء بين الكفات كما فى (شكل ٧١) المبين لقطع الطارة المذكورة مع مدارها وهذه الطارة مركبة من تاج مستدير ب ب مرتبط بالسهم بواسطة اذرع ح ح ... وحامل لكفات اا ... فالماء ينصب على الكفات من المنفذ م م ثم ان استدارة القاع المذكورة تنتهى بالرأسى الذى يمر بسهم الطارة باحكام بحيث يكون المفوت الذى بين النهايات المتطرفة للكفات والمدار صغيرا ما امكن وبهذه الكيفية يتكون بين المدار والكفات نوع من الاوانى لا يمكن أن يخرج منه الماء بعد دخوله فيه مادام هابطا كما يشاهد ذلك فى الشكل المذكور

١٥٠ ويمكن اهمال سرعة الماء فى قطع من الحوض الاعلى مأخوذ على بعد صغير من الطارة بسبب انها صغيرة جدا

فاذا رمز بالرمز ه الى سرعة الماء فى قطع من الحوض الاسفل قريب من الطارة وبالرمز ى الى ارتفاع السقوط بين القطعين المذكورين للحوض الاعلى والاسفل وبالرمز ث الى ثقل الماء المتصرف فى الثانية الواحدة وبالرمز شع الى الشغل الواصل للطارة فى الثانية الواحدة ايضا وبالرمز شع الى الشغل المقاوم الحادث فى الثانية الواحدة من احتكاك الجوانب الصلبة المماسة للماء أو من تأثيرات عناصر المائع فى بعضها بين حدى السقوط فانه يتحصل معنا بمقتضى (بند ١٢٨)

$$ش_ح = ش د - \frac{١}{٢} \frac{ش}{ح} ه^٢ - ش_ـ$$

يجد — شـ الذى هو قياس مفقود حدة المائع المحرك يتعلق بعدة احوال يلزم معرفة كل منها على وجه التفصيل

الاولى مفقود الحدة فى توصيل الماء من الحوض الاعلى الى الطارة

١٥١ يمكن أن يخرج الماء الوارد الى الطارة من الحوض الاعلى امام منفذ له باب تصريف اومن فوق مصب ومن ذلك يحدث حالتان متميزتان فى كل منهما يمكن أن يصل الماء الى الطارة بمجرى متوسط واصل من المنفذ الى الطارة ينشأ عنه شغل مقاوم عظيم متى كان طوله كبيرا وكان جانباه الرأسيان غير متصلين بالحوض الاعلى بواسطة سطوح منفرجة من جهة الحوض المذكور فاذا كان لايمكن اجتناب هذا الشغل فانه يمكن بالاقل تصغيره بوضع الطارة قريبة جدا من المنفذ

فيتكون من الشغل المقاوم المذكور الجزء الاول من الكمية — شـ ولنرمز له بالرمز — شـ

الثانية مفقود الحدة فى دخول الماء فى الطارة

١٥٢ ودخول الماء فى الانية التى بين كفتين متتاليتين من الوقت الذى ينغمر فيه طرف الكفة الاولى فى التيار الى الوقت الذى تصل فيه الكفة الثانية الى الرأس الاعلى للمدار المستدير يحدث عنه شغل مقاوم يصعب تعيينه بالضبط

فلاجل سهولة تعيين ذلك الشغل يسلم فرض نظرى وهو أن حجم الطارة ينقسم الى عدة عظيمة من الاوانى الصغيرة الحادثة من كفات سمكها غير محسوس وان التيار خيط رقيق ينقسم الى اجزاء صغيرة تدخل بالتوالى فى الاوانى المذكورة بمجرد وصول كل منها الى رأس المدار المستدير

وليكن ع سرعة التيار و ع سرعة محيط الطارة وكذلك سرعة الكفات الصغيرة فمتى دخل الجزء المائع فى احدى الاوانى حصل له احتكاك واضطراب

صغير

صغير ثم يعتبر انه لا يكون له بعد هذا التحرك الا ع التى هى سرعة الكفات

ولاجل تعيين الشغل المقاوم الحادث مدة تغير السرعتين يلزم أن نتذكر

اولا أن الشغل العنصرى لا يتعلق الا بالتحرك النسبى للاجسام

وثانيا أن التحرك النسبى لا يتغير عند حصول السرع الحقيقية مع سرعة توهمية

اذا تقرر هذا فلنتصور أن الانية آلت الى السكون وذلك بتحصيل سرعتها الحقيقية وهى ع مع السرعة عَ المساوية والمضادة لها كما فى (الشكل ٥٦)

ولكيلا يتغير التحرك النسبى للانية والمائع يلزم تحصيل عٍ التى هى سرعة المائع مع السرعة عَ المذكورة فينتج لنا السرعة وِ المحصلة التى هى السرعة النسبية

وحيث كانت الانية ساكنة فى هذه الحالة فقد المائع فيها سرعته وِ بسبب الاحتكاكات والتأثيرات العنصرية فقط (لان شغل التثاقل ينعدم بسبب أن مركز ثقل المائع المحجوز بالانية الساكنة يوجد تقريبا بالمستوى الافقى المار بمنتصف مدخل المائع) فينتج من ذلك أن المقدار الحقيقى لشغل الاحتكاكات والتأثيرات المذكورة هو الحية المنسوبة الى $\frac{ث}{ح}$ الذى هو مجسم المائع الداخل فى الانية والى السرعة وِ فاذن يكون المقدار الجبرى للشغل المذكور $- \frac{١}{٢} \frac{ث}{ح} وِ^٢$

فاذن اذا جعلنا $\frac{ث}{ح}$ المجسم المنصب فى الثانية الواحدة فان الشغل المنسوب لدخول الماء فى الطارة الذى نرمز له بالرمز $-ش_٣$ والذى يتكون منه الجزء الثانى من الكمية $-ش_ح$ يكون

$$- ش_٣ = - \frac{١}{٢} \frac{ث}{ح} وِ^٢$$

١٥٣ ويمكن ابدال وِ^{٢} بكمية مبينة بالسرعتين عٍ و عَ والزاوية الحادثة منهما لان المثلث ا ب د الذى اضلاعه وهى ا ب و ا د و د ب مناسبة للسرع عٍ و عَ و وِ الثلاثة ينتج منه

$$وِ^٢ = عٍ^٢ + عَ^٢ - ٢ عٍ عَ جتا (عٍ ، عَ)$$

وهذا مقدار يمكن وضعه بدلا عن $و'$ فى الكمية $-$ شـ
فاذا فرض مثلا أن

$$ع = ٥ \quad و \quad ع_ٍ = ٣ \quad و \quad جتا ع_ٍ رع = جتا ٣٠^\circ = ٠٫٨٦٦$$

يحدث من ذلك أن $و' = ٨٫٠٢$
ومن هنا ينتج $شـ = ٠٫٤١ ش$ من كيلوغرامترات

الثالثة مفقود الحدة فى احتكاك الماء بالمدار المستدير

١٥٤ يكون هذا الشغل صغيرا متى كان تحرك الطارة بطيئا وكبيرا اذا كان تحركها سريعا

وقد تقدم فى (بند ٧١) أن بيان الشغل المقاوم الحاصل فى الثانية الواحدة من مرقد تيار سرعته المتوسطة مبينة بالرمز $رع$ والمحيط المغمور بالماء من المرقد مبين بالرمز $ح$ وطول هذا المرقد مبين بالرمز $ل$ هو

$$- ط ح ل \ (و رع + وَ رع^٢) \ رع \quad أو \quad - ش ل \ \frac{(و رع + وَ رع^٢)}{نق}$$

وذلك ناشئ عن الارتباطين $ش = ط رع$ و $نق = \frac{ج}{ح}$ فاذا فرض أن $رع = ٣م$ وأن $نق = ٠٫١٥م$ و $ل = ٣م$ فانه يتحصل بمقتضى القانون المتقدم $- ٠٫٠٧ ش$ من الكيلوجرامترات وهى كمية يلزم فى الغالب زيادتها لاجل تحصيل شغل احتكاك الماء على ماء طارة لها سرعة قدرها ثلاثة امتار بسبب أن سرعة قاع التيار تكون فى هذه الحالة مساوية للسرعة المتوسطة بل ربما كانت اكبر منها واما فى الاحوال التى تعين فيها مكرراو و وَ بالتجربة فان سرعة القاع محصورة فيها بين ٠٫٦ أو ٠٫٧ من السرعة المتوسطة

الرابعة مفقود حدة الماء بالابتداء من الرأس المار بسهم الطارة الى نهاية خليج التصريف

١٥٥ وجميع الاعتبارات المذكورة فى (بند ١١٩) وما بعده الى ١٢٣ تقع هنا

هنا وهى التى يأخذ منها انه ينشأ من وضع قاع المدار فى موقع الرأسى المار بمحور سهم الطارة التى لماتها عين سرعة الكفات فى مستوى توازن خليج التصريف إلى الحوض الاسفل فقد كمية عظيمة من شغل السقوط لان الماء حين يخرج من الطارة يسقط من ارتفاع مساو للارتفاع الذى له بين الكفات فيكتسب ازديادا فى السرعة لافائدة له وقد شوهد فى البنود التى ذكرت انه يمكن أن يستفاد جزء عظيم من حدة الماء فى تحركه المشترك مع الطارة وذلك بان يجعل لخليج التصريف صورة لائقة لذلك

١٥٦ وقد كانت العادة جرت كما فى (شكل ٧١) بوضع طرف قاع المدار المستدير المقابل للرأسى المار بمحور سهم الطارة فى توازن سطح ماء الحوض الاسفل ووصل المدار المذكور بقاع الحوض المذكور بتعمق سريع او بمستوذى ميل ما وهذا مبنى على اوهام فاسدة اشتهرت بين الناس وعضدها بعض المؤلفين ففى هذه الحالة يكون الشغل الواصل للطارة مساويا للشغل الذى يكون حاصلا لو كان مستوى توازن الماء فى الحوض عين مستوى توازن الماء فى الكفات الموجودة فى اسفل الرأسى المار بمحور سهم الطارة وكانت له سرعة كالسرعة ع التى هى سرعة الطارة وبناء على ذلك يلزم فى القانون المذكور فى (بند ١٥٠) وهو

$$\frac{ش}{ج} = ث\,ى - \frac{1}{2}\,\frac{ث}{ج}\,ه^{2} - ش$$

أن لا يجعل مقدار ى مساويا ارتفاع مستوى توازن الماء فى الحوض الاعلى عن قاع المدار بل ناقصا سمك الماء بين الكفات السفلى ومع ذلك يلزم ابدال ه بالسرعة ع التى هى سرعة الكفات

١٥٧ ولنطبق النظرية المتقدمة على احدى تجاريب المهندس موران التى عملها فى شأن طارة ذات كفات مستوية عملت لمسبك مدينة تولوز كما عرف ذلك من رسالته المؤلفة فى تجاريب الطارات ذات الكفات المستوية والطارات ذات العلب

فقد كان الماء يخرج من منفذ له باب تصريف مرفوع بقدر ٠ر١٤٧

عن القاع الذى كان منحطا عن سطح ماء الحوض الاعلى بقدر ٤٢٣ر١ م
ولما كان المنفذ ممتدا بواسطة مجرى افقى تقريبا كانت سرعة الماء عند
خروجه منه بقطع النظر عما يفقده الاحتكاك منسوبة لارتفاع قدره

٤٢٣ر١ — ١٤٧ر٠ = ٢٧٦ر١م

فيكون قدرها حينئذ ٥م = ع

وكان وسع المنفذ والطارة ١٫٥٥م

وكانت سعة المنفذ بناء على ذلك ١٤٧ر٠ × ١٫٥٥ = ٢٢٨ر٠

وقد قدر المهندس المذكور ثقل الماء المتصرف فى الثانية الواحدة فوجده

يساوى ٨٧٨ لتر = ش

وذلك يستدعى مكرر انضمام قدره $\frac{٨٧٨}{٥ \times ٢٢٨ر٠} = ٧٧ر٠$

وكان لمحيط الطارة فى احدى التجاريب سرعة قدرها ٠٦ر٣م = ع

وكان مقدار زاوية السرعتى ع و ع بمقتضى الرسم ٣٠°

ومن ذلك يحدث ٨٦٦ر٠ = جتا (ع ، ع)

وحيث كان المتصرف عن كل متر من وسع الطارة يساوى $\frac{٨٧٨ر٠}{١٫٥٥}$
أو ٥٦٦ر٠ فان سمك الماء فى الكفات (بقطع النظر عن المسافة المشغولة
بالكفات) يكون $\frac{٥٦٦ر٠}{٠٦ر٣} = ١٨٥ر٠م$

ولنفرض انه يساوى ١٩٠ر٠م = ك

وكان ارتفاع مستوى توازن الماء فى الحوض الاعلى عن المدار المستدير المقابل
للرأسى المار بمحور سهم الطارة يساوى ٩٢ر١م

وحينئذ يكون قدر ارتفاع السقوط الذى يلزم ادخاله فى الحساب

٩٢ر١م — ١٩٠ر٠م = ٧٣ر١م = ى

اذا

اذا تقرر هذا وكان البعد الذى بين المنفذ والطارة يساوى ٠,٧٥م سهل بعمل حساب مشابه للمقرر فى (بند ١٣٧) ايجاد انحدار كلى او مفقود سقوط قدره ٠,٠٧م فى هذا الامتداد

ولنجعل حينئذ — شہ = — ٠,٠٧ ث من الكيلوغرامترات وتكون الكمية — شہ المنسوبة لدخول الماء فى الطارة بمقتضى (بند ١٣٨)

— شہ = — ١/٢ ث/ح (ع٢ + عَ٢ — ٢ ع عَ جتا ٣٠°)

ولا يمكن تعيين مفقود الشغل المنسوب لاحتكاك الماء بالمدار الاعلى وجه التقريب فحيث كان طول المدار من المنفذ الى المحل الذى يخرج منه الماء من الطارة مساويا ٢,٥٠م يكون مقدار الشغل المذكور بمقتضى (بند ١٥٤) ٠,٠٨ ث تقريبا فاذن يؤول قانون (بند ١٥٠) الى هذه الصورة

شح = ث ى — ١/٢ ث/ح (ع٢ + عَ٢ — ٢ ع عَ جتا ٣٠°) — ١/٢ ث/ح عَ٢ — ٠,١٥ ث

أو يحدث بابدال الرموز بمقاديرها ع = ٥ و عَ = ٣,٠٦ و جتا ٣٠° = ٠,٨٦٦

شح = ث (ى — ٠,٣٢ — ٠,٤٨ — ٠,١٥) = ث (ى — ٠,٩٥)

أو يحدث بسبب أن ى = ١,٧٣ و ث = ٠,٨٧٨

شح = ٨٧٨ لتـ × ٠,٧٨م = ٦٨٥ كم

وقد وجد المهندس موران بالتجربة أن شح = ٦٢٧

ويمكن أن يكون الفرق الحاصل بين الشغل المحسوب وهو ٦٨٥ كم وبين الشغل التجريبى الذى وجده المهندس المذكور وهو ٦٢٧ حادثا من المفوت الموجود بين الطارة والمدار ويمكن ايضا ان يكون هذا الفرق حاصلا من هذا الفرض وهو فرض السرعة ع منسوبة الى الضاغط الكلى

وهو ١ر٢٧٦ م مع انه يلزم تنقيص هذا الضاغط بالضرورة ويمكن أن يكون الفرق المذكور حاصلا ايضا من التقدير الضعيف الذى قدره المهندس موران للشغل الواصل الى الطارة

فيشاهد من ذلك انه يمكن حساب الشغل الواصل لطارة مائية حسابا نظريا وانه لا يحتاج الا لمكرر تصحيح قدره ٠ر٩١ واما القانون الذى استعمله المهندس موران فانه يستدعى فى الحالة التى ذكرناها معامل تصحيح قدره ٠ر٦٢

١٥٨ اذا نسبنا شـع = ٦٢٧ الى الحاصل ش ء = ٨٧٨ × ١ر٧٣ = ١٥١٩ نجد أن مقدار النسبة ٠ر٤١ وهى نسبة ينشأ صغرها من الاشغال المفقودة المحسوبة آنفا ولذلك ينبغى البحث عن طرق تنقيص الاشغال المذكورة

فاحد هذه الاشغال المفقودة هو — شـ/٢ الذى مقداره

$$- \frac{١}{٢} \frac{ش}{ح} و^{٢} \text{ أو } - \frac{١}{٢} \frac{ش}{ح} \left(عَ^{٢} + ع^{٢} - ٢ عَ ع \text{ جتا} (عَ ، ع) \right)$$

وهذا الشغل لا يمكن انعدامه اصلا حيث أن و هى سرعة الماء بالنسبة للطارة

ولنفرض أن ع التى هى سرعة الطارة معينة وكذلك الزاوية (عَ ، ع) فيكون للكمية و^٢ نهاية صغرى يسهل تعيينها بتغيير عَ لانه يمكن وضع مقدار و^٢ بهذه الصورة

$$و^{٢} = \left(عَ - ع \text{ جتا} (عَ ، ع) \right)^{٢} + ع^{٢} - ع^{٢} \text{ جتا}^{٢} (عَ ، ع) \text{ أو}$$

$$و^{٢} = \left(عَ - ع \text{ جتا} (عَ ، ع) \right)^{٢} + ع^{٢} \text{ جا}^{٢} (عَ ، ع)$$

فاذن يكون اصغر مقادير و^٢ مقابلا عَ = ع جتا (عَ ، ع) ويكون

$$و^٢ = ع^٢ جا^٢ (ع و ع)$$

فكان يلزم اذا فرض ابقاء سرعة طارة مدينة توّلوز على حالها أى ع = ٣,٠٦ والزاوية (ع و ع) على حالها ايضا اى (ع و ع) = ٣٠° ان يجعل ع = ٣,٠٦م × ٠,٨٦٦ = ٢,٦٥ وهى السرعة المنسوبة الى ٠,٣٨م وهو المقدار الذى كان يلزم للضاغط على الحرف الاعلى من المنفذ وبذلك كان يؤول و^٢ الى ع^٢ جا^٢ ٣٠° = $\frac{١}{٤}$ ع^٢ وكان (ــ شـ) يؤول ايضا الى ــ $\frac{١}{٤}$ ث $\frac{ع^٢}{٢ح}$ أو ــ ٠,١٢ ث عوضا عن ــ ٠,٣٢ ث

١٥٩ واعظم سبب فى تنقيص نسبة $\frac{شـ}{ث ى}$ هو حد ــ $\frac{١}{٢}$ $\frac{ث}{ح}$ ع^٢ الدال على الشغل الباقى مع الماء فى الوقت الذى يخرج فيه من الطارة فاذا جعلنا فى قانون النتوّ المذكور فى (بند ١٣٥)

ى = ٠,١٩ و ع = ٣,٠٦ نجد أن ى″ = ٠,٤٣

وبذلك يكون ارتفاع النتوّ ى″ ــ ى = ٠,٤٣ ــ ٠,١٩ = ٠,٢٤

وتكون السرعة بعد النتو ٣,٠٦ × $\frac{١٩}{٤٣}$ = ١,٣٥ منسوبة الى الارتفاع ٠,٠٩ الذى يمكن أن ينتفع بجزء منه الا انه يفرض أن الارتفاع المذكور يكون دالا على مقدار انحدار القاع اللازم لابعاد النتوّ عن الطارة ومع ذلك فقد كان يمكن جعل طرف قاع المدار المستدير اخفض من مستوى توازن الماء فى خليج التصريف بدون أن يخشى على الطارة من التعطل بقدر ٠,٢٤ + ٠,١٩ أو ٠,٤٣

وليكن السقوط الحقيقى مساويا للسقوط المرموز اليه فيما سبق بالرمز ى اى ١,٧٣م فيلزم فى قانون (بند ١٥٧)

وهو شـ = ث ى ــ $\frac{١}{٢}$ $\frac{ث}{ح}$ (ع^٢ + ع^٢ ــ ٢ ع ع جتا ٣٠)

ــ $\frac{١}{٢}$ $\frac{ث}{ح}$ ع^٢ ــ ٠,١٥ ث أن يجعل $\frac{١}{٢}$ $\frac{ث}{ح}$ (ع^٢ + ع^٢

— ٢ ع ع جتا ٣٠°) = ١٢ر٠ ث و ث ء = ث (١ر٧٣ + ٠ر٢٤) = ١ر٩٧ ث وأن يترك للكمية ع²/٢ء مقدارها وهو ٠ر٤٨ المقابل للسرعة ع = ٣ر٠٦م

واما حد ٠ر١٥ ث المنسوب لاحتكاك المدار من ابتداء المنفذ الى نهاية المدار المستدير فانه يلزم نقصه من جهة حيث أن ع التى هى سرعة ورود الماء الى الطارة نقصت ويلزم ازدياده من جهة اخرى بالنسبة لازدياد قاع المدار عن اصله وبناء على ذلك ينبغى ابقاء الحد المذكور على حاله فاذن يحدث

شح = ث (١ر٩٧ — ٠ر١٢ — ٠ر٤٨ — ٠ر١٥) = ١ر٢٢ ث

أو انه يحدث بسبب أن ث = ٨٧٨ لـ

شح = ١٠٧١ كم عوضا عن ٦٨٥ وهو الناتج النظرى لاوضاع الطارة المذكورة فى (بند ١٥٧)

وحيث كان مقدار الشغل الحقيقى للسقوط فى الفرض الاخير هو ايضا

شن = ٨٧٨ × ١ر٧٣ = ١٥١٩ كم

تكون نسبة الشغل المحرك الواصل للطارة الى الشغل الحقيقى للسقوط

شح/شن = ١ر٢٢/١ر٧٣ = ٠ر٧٠

فاذا فرض انها تستدعى مكرر تصحيح مقداره ٠ر٩١ تكون ايضا ٠ر٦٤ اى انها ليست بعيدة عن ٠ر٧٠ بكثير

فى الطارات البطيئة ذوات المدار المستدير

١٦٠ ينتج من حسابات الفصل المتقدم انه يزداد الانتفاع بالشغل الحقيقى للسقوط كلما بطؤ تحرك الطارة فاذا امكن صب الماء بسرعة صغيرة على الطارة التى تدور مع غاية البطء بالفرض فان اسباب فقد الحدة المذكورة فى (بند ١٣٦) وما بعده تقل جدا ويختلف الشغل الواصل للطارة قليلا عن الشغل الحقيقى للسقوط

للسقوط غير انه يوجد فى العمل اسباب تجبر بطء تحرك الطارة على أن لا يتعدى حدا معينا لانه كلما كان تحرك الطارة بطيئا استدعت زيادة اتساع لصرف حجم معين فبناء على ذلك تزداد فى الثمن ويضيع جزء عظيم من الماء فى المفوت بين الطارة والمدار ويستدعى بطء تحرك الطارة كثيرا من الطارات المضرسة كى توصل للالات الصانعة السرعة اللائقة بوظيفتها وبذلك يزيد شغل الاحتكاكات وبالجملة فقد يتفق أن بعض المقاومات الموجودة فى الفوريقة تتغير تغيرات فعليا فينبغى أن يكون للطارة وظيفة الطيارة ويكون لها بناء على ذلك سرعة كافية لهذه الوظيفة وقد دلت التجربة على أن السرعة الموافقة التى تلزم لمحيط طارة ٣٠ر١م تقريبا فى الثانية الواحدة

١٦١ فاذا استعملنا فى هذه الحالة نظرية (بند ١٥٨) التى يؤخذ منها انه متى علمت ع التى هى سرعة الطارة والزاوية (ع ر ع) واريد جعل مفقود الحدة المنسوب لدخول الماء فى الطارة نهاية صغرى يجعل ع = ع جتا (ع ر ع) فيشاهد أن الماء ينصب بسرعة اصغر من ٣٠ر١م فى الثانية الواحدة وذلك لا يعمل به وانما يعمل منفذ على صورة مصب بحيث تكون سرعة ورود الماء منه الى الطارة صغيرة ما امكن

ويمكن تغير ارتفاع مستوى توازن الماء فى الحوض الاعلى فوق رأس المصب بمقدار من ٢٠ر٠ الى ٢٧ر٠ متى كان ارتفاع السقوط اكبر من متر واحد وكثرة رقة العرق المنصب تستدعى اتساعا عظيما فى الطارة فتفقد كمية عظيمة من الماء بالمفوت الذى بين الطارة والمدار وهذا امر لا يمكن اجتنابه ويحدث من عظم سمك العرق المنصب سرعة ورود عظيمة وشغل مقاوم ناشئ من التغير السريع لشدة واتجاه هذه السرعة

واذا كان ارتفاع السقوط صغيرا بالنسبة الى نصف قطر الطارة فان تغير اتجاه السرعة يظهر قليلا وفى هذه الحالة اذا ازداد سمك العرق المذكور ازديادا قليلا فان الضرر يكون غير ظاهر

١٦٢ وينبغى وضع الكفات على وجه بحيث لا يفقد من دخول الماء فيها

الا قليــل من الشغل وقد جعلت لكفات كثير من الطارات التى عملتها صورة مستحسنة وهى مبينة فى (الشكل ٥٧) واستعملها كثير من المهندسين والكفة المصنوعة بهذه الصورة مركبة من ثلاثة اجزاء مستوية احدها وهو الداخل ابتداء فى الماء يكون اتجاهه مارا بالمركز الذى يلزم أن يكون مرتفعا ما امكن عن سطح ماء الحوض الاعلى

والثانى يحدث مع نصف القطر زاوية قدرها ٤٥° تقريبا

والثالث يكون عمودا على نصف القطر تقريبا وقد يكون بين كل كفتين كثيرتى السطوح من الكفات المذكورة فى داخل الطارة فراغ لاجل سهولة تحرك الهواء

وبمقتضى هذا الوضع يكون الجزء الاول من الكفات موازيا تقريبا لسرعة الماء النسبية عند وصولها الى الكفة او الى الماء الذى بدأ بالدخول فيها وتكون هذه السرعة صغيرة ما امكن حتى لا يعتبر أن الحدة المنسوبة لاوائل الخيوط الداخلة فى كل انية مفقودة بالكلية كما فرض ذلك نظرا فى (بند ١٥٢) لان انكسار الكفات لا يمنع جزأ من الماء عن أن يرتفع الى نقطة اعلى من النقطة التى يصل الجزء المذكور فيها الى الانية فى تحركها

وفى هذه الملحوظة دليل على اجتناب الوضع الذى يستعمله المهندسون لاسيما اذا كان قطر الطارة اكبر من ارتفاع السقوط وصورة هذا الوضع ان الكفات تكون موضوعة على وجه بحيث تكون افقية عند وصولها الى توازن الماء فى الحوض الاعلى

١٦٣ ويكون احتكاك الماء بالمدار المستدير مهملا فى الطارات البطيئة وذلك سهل الادراك وفى هذه الطارات سبب به يفقد جزء من الماء المؤثر فيها وهو المفوت الذى بين الكفات والمدار فيصغر ما امكن باحكامه احكاما كليا وضبط اجزاء الطارة بحيث لا يختل تعشقها بالمدار وذلك بان تكون اجزائها معشقة ببعضها انعشاقا كليا ويكون هناك علامات بها يستدل على مطابقة محور دوران الطارة مع محور صورة المدار

١٦٤

١٦٤ وفى هذا الوضع يهبط الماء الذى بين الكفات الى اسفل المدار اى الى موقع الرأسى المار بمحور سهم الطارة بسرعة ضعيفة قدرها ١٫٣ كسرعة الطارة وحيث كانت هذه السرعة منسوبة لسقوط قدره من ٠٫٠٨م الى ٠٫٠٩م لا يمكن استعمالها لتحصيل نتوأ وعكس انحدار لسطح الماء كما لو كانت سرعة الماء عظيمة (انظر بند ١٣٨) الا انه لا يلزم أن يكون جزء من السقوط الكلى مستعملا لازدياد سرعة الماء عند خروجه من الطارة وبناء على ذلك يلزم وضع قاع المدار فى نقطة تقابله بالرأسى المار بمحور الطارة تحت توازن الماء فى الحوض الاسفل بكمية مساوية لسمك الماء بين الكفات ولا ينبغى أن يكون للمدار بالابتداء من الرأسى المار بمحور الطارة الى محل خروج الكفات الا انحدار لطيف لازم لحفظ سرعة الماء التى تساوى سرعة الطارة ثم بعد ذلك ينبغى وصل قاع المدار بالنهر او النهيرة بانحدار لطيف قدره ٠٫٠١م فى كل متر

١٦٥ ومن جملة الطارات التى جربها المهندس موران طارة يقرب وضعها من الطارات البطيئة التى تقدم ذكرها غير أن قاع مدارها ليس موضوعا تحت توازن الماء فى الحوض الاسفل وكل كفة من كفاتها مركبة من مستويين بينهما زاوية قدرها ١٠٥° تقريبا

وعرض هذه الطارة = ٣٫٩٠م

وقطرها = ٤٫٠٠م

وقد كان فى احدى التجاريب حجم الماء المتصرف فى الثانية الواحدة يساوى = ٠٫٦٨٧ ملمك

وكانت سرعة المحيط الخارج للطارة = ١٫١٦٢م

وكان حينئذ سمك الماء بين الكفات فى اسفل محور الطارة = ٠٫١٩م

وكان ارتفاع توازن الماء فى الحوض الاعلى فوق قاع المدار (وهو كمية اطلق عليها المهندس موران اسم السقوط الكلى) يساوى = ٢٫٠٦٥م

وكان حينئذ السقوط الحقيقى المقيس من توازن الماء فى الحوض الاعلى

الى استواء الماء فى محل خروجه من الكفات يساوى = ٢٫٠٦٥م — ٠٫١٩م = ١٫٨٧٥م

فكان حينئذ الشغل الحقيقى للسقوط فى الثانية الواحدة يساوى

٦٨٧ لتـ × ١٫٨٧٥م = ش/ق = ١٢٩٤ كم

وقد وجد المهندس المذكور أن الشغل الواصل للطارة فى الثانية الواحدة

ش/ع = ١١٩٣ كم

ومن هنا ينتج

(ش/ع) / (ش/ق) = ١١٩٣ / ١٢٩٤ = ٠٫٩٢

وقد كانت سرعة محيط الطارة فى تجربة اخرى عملها المهندس موران المذكور تساوى = ١٫٥٩م

وكان التصرف = ٠٫٨١٠ مك

وكان سمك الماء بين الكفات = ٠٫٢٢م

وكان السقوط الحقيقى = ٢٫٠٦م — ٠٫٢٢م = ١٫٨٤م

وكان حينئذ الشغل الحقيقى للسقوط = ٨١٠ لتـ × ١٫٨٤م

= ش/ق = ١٤٩٠ كم

وكان الشغل الواصل الطارة فى الثانية الواحدة يساوى ش/ع = ١٣٨٨ كم

ومن هنا ينتج

(ش/ع) / (ش/ق) = ١٣٨٨ / ١٤٩٠ = ٠٫٩٣

١٦٦ يمكن أن يكون فى التجاريب المتقدمة بعض خطا منسوب الى مقادير المتصرف لان المهندس المذكور قد استعمل فى ذلك قانون متصرف المصبات المكشوفة ولا شك انه يصعب تسليم أن الطارة ليس لها تأثير على المتصرف فالصواب انه لا يعتمد فى العمل الاعلى نسبة قدرها ٠٫٨٠

وقد يتفق أن التجاريب الدقيقة التي تعمل في شأن طارات محكمة تكون دالة على أن الشغل الحقيقي الواصل للطارة يزداد من تنقيص سرعتها وجعلها اقل من متر واحد في كل ثانية

لكن باعتبار زيادة كلف الطارة من جهة وزيادة الاحتكاكات الحادثة منها من جهة اخرى والتنبيه على انه ينتهي امر الطارة مهما كان احكامها الاصلي في المدار الى انها تفقد جزء من الماء في المفوت بين المدار والكفات وان الماء المفقود يزداد كلما كان سيرها بطيئا يفهم ان أليق سرع الطارة تكون مساوية ٣٠ر١م بالاقل وقد استصوبت هذا المقدار للسرعة المذكورة بشرط ان لا يكون هنالك ما يجبر على ازديادها

١٦٧ يلزم أن يكون مقدار البعد الموجود بين كل كفتين متتاليتين من ٣٣ر٠ الى ٤٠ر٠ وان يكون فيما بينهما من الفراغ كفاية لمعظم المياه التي يراد الانتفاع بها فاذا كان حجم الماء الوارد ثابتا لزم ان لا يملأ الا ثلثي الفراغ الكلي المذكور على وجه التقريب

١٦٨ وفي العادة يكون حجم الماء الوارد متغيرا بحسب الفصول فيوضع المنفذ بالصورة المبينة في الشكل المتقدم في (بند ١٦٢) وبهذه الصورة يكون للفوريقات على الدوام ارتفاع الماء الخاص به بمقتضى القوانين السياسية فاذا كان السقوط صغيرا فالا فيد استعمال القاعات المستعارة التي تستعمل لمعايرة تصرف الماء بمقتضى التجربة وفي هذه الحالة يكون حجم الماء الذي يلزم تصريفه في الغالب عظيما ولا بد وان يكون سمك العرق المنصب كبيرا عنه فيما لو كان السقوط عظيما وحيث كان دوران الطارة بطيئا فلا يكون لقانون تصرف المصبات استعمال بالكلية

١٦٩ الطارات ذات المدار المستدير توافق السقوط الصغير والمتوسط الى غاية ٥٠ر٢م أو ٠٠ر٣ ولا يكون قطرها اقل من ٤م وانما يلزم ازدياده بقدر ٠٠ر١م عن ضعف ارتفاع السقوط ان امكن ذلك

الفصل الخامس

فى الطارات ذات العلب غير المتعشقة بمدار

١٧٠ صورة هذه الطارات مبينة فى (الشكل ٧٢) ولا تختلف نظرية هذه الطارات عن نظرية الطارات المتقدمة الا اختلافا قليلا ويمكن أن يعتبر حجم الطارة مقسوما الى كثير من الاوانى الصغيرة وان التيار آيل الى خيط واحد مقسوم الى اجزاء صغيرة داخلة بالتوالى فى العلب عند ورودها الى نقطة المدخل ولنجعل ث رمزا الى ثقل المتصرف فى الثانية الواحدة و ى رمزا الى ارتفاع النقطة التى يدخل منها الماء فى الطارة عن النقطة التى يخرج منها

و ع رمزا الى سرعة الماء فى نقطة الدخول

و عٍ رمزا الى السرعة المشتركة بين الماء والطارة فى نقطة الخروج

و شح رمزا الى الشغل الواصل للطارة فى الثانية الواحدة الواقع منها حينئذ على المائع الكلى المؤثر فيها فى هذا الزمن

و شِ رمزا الى شغل تأثير العناصر والاحتكاكات مدة الزمن المذكور فيحدث بموجب القاعدة العامة لتأثير الشغل

$$\frac{1}{2}\,\frac{\text{ث}}{\text{ح}}\left(\text{ع}^{2}-\text{عٍ}^{2}\right)=\text{ث ى}-\text{شح}-\text{شِ}$$

وباجراء الاثبات الذى تقدم فى (بند ١٥٢) وجعل شِ مساويا للشغل الناتج من دخول الماء فى العلب يحدث بجعل و رمزا للسرعة المنسوبة للدخول

$$\text{شِ}=\frac{1}{2}\,\frac{\text{ث}}{\text{ح}}\,\text{و}^{2}=\frac{1}{2}\,\frac{\text{ث}}{\text{ح}}\left(\text{عٍ}^{2}+\text{ع}^{2}-2\,\text{عٍ ع جتا}\left(\text{عٍ، ع}\right)\right)$$

وبوضع هذا المقدار فى المعادلة المتقدمة عوضا عن (شِ) يحدث

$$\text{شح}=\text{ث ى}+\frac{1}{2}\,\frac{\text{ث}}{\text{ح}}\left(\text{ع جتا}\left(\text{عٍ، ع}\right)-\text{عٍ}\right)\text{عٍ}$$

وتطبيق هذا القانون على طارة معينة يقتضى انه لابد وان يعرف

اوّلا

اولا نقطة الدخول التى يأخذ الماء فيها سرعة الطارة وهى موجودة فى داخل الطارة لاعلى محيطها

وثانيا نقطة الخروج وهى نقطة فرضية كنقطة الدخول المذكور حيث أن العلبة لم تتفرغ دفعة واحدة

١٧١ وفى القواعد العامة من علم الميكانيكا كفاية فى ادراك النتائج التى نذكرها فنقول

اولا يلزم لاجل ان تكون الطارة اعظم تأثيرا أن تكون سرعتها صغيرة جدا لان هذه السرعة هى سرعة الماء عند خروجه من الطارة وهى منسوبة الى ارتفاع سقوط مفقود بالنسبة للطارة ويظهر انه يحدث من السرعة المساوية لمتر واحد من محيط الطارة اعظم نتيجة لكنه لا يلزم أن يخشى من ازدياد الفقد الحادث من سرعة اعظم من متر واحد لانه لا يحدث من سرعة مترين من محيط الطارة مثلا الا ارتفاع مفقود قدره ٠٫٢٠٤م وهو ارتفاع ليس لمقداره اعتبار كلما عظم ارتفاع السقوط الكلى

وثانيا أن الطارات ذات العلب المعروفة بالطارات الفوقية التى تتلقى الماء فى رؤسها بسرعة اعظم من سرعة الكفات بيسير احسن من الطارات التى تأخذ ماءها فى نقطة اخفض من رؤسها الا انه ينبغى لذلك أن يكون مستوى توازن الماء فى الحوض الاعلى ثابتا تقريبا وأن يكون رأس الطارة موضوعا على ارتفاع صغير قدره ٠٫٢٠ تقريبا تحت مستوى توازن الماء فى الحوض المذكور ويلزم فى هذه الحالة أن يكون قاع الحوض الاعلى (الذى يوصل الماء الى الطارة) منتهيا برقعة معدنية قريبة جدا من الطارة وموضوعة على بعد قدره ٠٫٠٤م خلف الرأسى المار بمحور الطارة وان تكون جوانب الحوض ممتدة امام رأس الطارة بقدر ٠٫٠٨م فاذا تغير مستوى توازن الماء فى الحوض الاعلى تغيرا كبيرا فان النوع الثانى من هذه الطارات يكون مستحسنا وان كان الماء يفقد عند دخوله به جزء عظيما من ارتفاع السقوط ويترك العلب على ارتفاع يزداد فى الطارات البطيئة بالنسبة لاقطارها

وثالثا انه يلزم حساب صورة العلب بحيث يسهل دخول الماء فى الطارة ويتبقى بها الى القرب من الحوض الاسفل ولابد فى الطارات الفوقية أن يكون سمك تاج العلب فى جهة القطر صغيرا (مثل ٠٢٥ر٠م أو ٠٢٨ر٠م) كى يشرع الماء فى التأثير بثقله من اعظم ارتفاع اوتصغر السرعة النسبية للماء عند دخوله فى العلب مهما امكن ويمكن أن الطارة التى لمحيطها سرعة قدرها من ٣٠ر١م الى ٤٠ر١م يصرف كل متر من وسعها كمية من ٧٠ ليترا الى ١٠٠ فى الثانية الواحدة

ورابعا أن الطارات ذات العلب لا ينبغى أن تكون مغمورة بالماء فى الحوض الاسفل واذا حصل ذلك فلاجل أن يكون مع الفائدة يلزم أن يعشق الجزء الاسفل منها بمدار يمنع الماء عن الخروج منها وأن يركب على كل علبة سقاطة فى الجهة المقابلة لداخل الطارة ليمكن دخول الهواء فى هذه الطارة بواسطة السقاطة المذكورة متى خرج منها الماء

١٧٢ ويؤخذ من تجاريب متنوعة عملت فى الطارات ذات العلب البطيئة أن نسبة الشغل الواصل للطارة الى الشغل الحقيقى للسقوط تبلغ ٧٥ر٠ وقد تبلغ ٨٠ر٠

١٧٣ وقد تستعمل لاسيما فى ورش الحدادة طارات ذات علب فوقية لها سرعة عظيمة تفقد جزأ عظيما من السقوط وتجبر الرأس على أن تكون منخفضة بالكلية عن مستوى توازن الماء فى الحوض الاعلى وفى هذه ينبه على أن سطح الماء فى العلب لا يكون افقيا تقريبا كما يمكن تسليم ذلك عند بطء دوران الطارة ولابد من معرفة الصورة التى تكون للسطح المذكور لانه يتعين بها اعظم حجم من الماء يمكن احتواء العلبة عليه فى كل من اوضاعها وكذلك تتعين بها النقطة التى تبدء منها العلبة بالتفريغ (مالم يكن التفريغ ممنوعا بحائز مستدير يقوم مقام المدار المستدير من ابتداء دخول الماء فى الطارة الى النقطة الاعظم انخفاضا من نقط الطارة)

ويمكن ايجاد هذه الصورة بكيفية تقريبية كما افاده المهندس پونسليه وذلك

لانه

لانه يعتبر الماء المظروف فى علبة ما كاسكونا نسبيا فى زمن صغير جدا وحينئذ ترسم نقطة من سطح الماء فى العلبة دائرة بتحرك منتظم فاذن يكون مقدار محصلة القوى الواقعة على النقطة المذكورة $ك = \frac{ث\,يه^{٢}\,نق}{ح}$ وتكون متجهة الى جهة المركز بجعل ث رمزا الى ثقل النقطة المادية و نق رمزا الى بعدها عن المركز و يه^{٢} رمزا الى السرعة الزاوية للطارة وحيث كانت مركبتا المحصلة المذكورة هما

اولا ثقل النقطة المادية وهو قوة رأسية

وثانيا المقاومة هـ الحادثة للنقطة المذكورة من النقط المحيطة بها وهى قوة عمودية على سطح الماء كما فى (شكل ٥٨) وليكن م ر رمزا الى اتجاه هذه القوة العمودية و ر رمزا الى نقطة تقابله بالرأسى المار من مركز الطارة وهو ح فتكون الاضلاع م ح و ح ر و م ر الثلاثة موازية للمحصلة ك ولمركبتيها وهما ث و هـ كل لنظيره فاذن تكون مناسبة لها وحينئذ يحدث ح ر : م ح :: ث : ك

وحيث كان م ح = نق و $ك = \frac{ث\,يه^{٢}\,نق}{ح}$ ينتج $ح\,ر = \frac{ح}{يه^{٢}}$

وهى كمية لا تتعلق بالبعد نق ولا بوضع العلبة

وبناء على الفرض التقريبي الذى تقدم ذكره يكون سطح الماء فى علبة ما اسطوانيا ويكون له قطع مستدير مركزه موجود فى النقطة ر الثابتة المعينة بواسطة البعد $ح\,ر = \frac{ح}{يه^{٢}}$

فاذا كان قطر الطارة مثلا يساوى ٣م وسرعة محيطها تساوى ٤م يحدث

$يه = \frac{٤}{١٫٥}$ ومن ذلك يحدث $ح\,ر = \frac{٩٫٨١ \times ٩}{٦٤} = ١٫٣٨$م

ويسهل بواسطة عملية رسمية واستعمال قانون المهندس توماس سامسون حساب الشغل المنسوب لثقل الماء من نقطة مبدء الانصباب من العلبة الى

نقطة منتهى الانصباب

الفصل السادس

فى الطارات الافقيه ذات الكفات المنحنية التى يدخل فيها الماء بسرعة عظيمة ويهبط فيها مع بقائه على بعد ثابت من المحور (وهى طارات اولير)

١٧٤ الطارات الافقية التى تدور حول محور رأسى على انواع متعددة ومن هذه الانواع النوع المتحرك بالمصادمة وهو المبين (فى شكل ٧٣) بمسقط رأسى ومسقط افقى فالماء يرد اليها من المجرى م م على كفاتها ك ك فتدور على سهمها ا ا المرتكز على كتلة افقية مثبتة فى برواز يتحرك بساق ق محلز من طرفه الاعلى ومتصل من طرفه الاسفل بالبرواز الذى يدور بمفصلات ف وبذلك يمكن رفع الطارة وخفضها يسيرا بمثل خفاف الطاحون كما يتبين ذلك من الشكل ويشاهد بالسهولة أن هذه الطارات مشابهة للطارات الرأسية ذات المدار المستوى من جهة كونها تفقد كمية عظيمة من الشغل الحقيقى للسقوط وبهذا الداعى ضربنا عنها صفحا ولم نتكلم عليها

ومنها النوع المتحرك بالضغط وهو المبين فى (شكل ٧٤) بمسقط رأسى ومسقط افقى ويرد اليه الماء من حوض ح ح وينزل بين جميع الكفات ك ك كما هو مبين فى الشكل فتدور حول سهمها ا ا المرتكز على كتلة افقية تتحرك بمفصلة بواسطة ساق ث لاجل رفعها وخفضها يسيرا وينصرف الماء من اسفلها فى حوض الصرف الذى مستوى توازن الماء فيه ة ة واما توازن الماء فى حوض الورود فوق الطارة فهو كما هو مبين فى الشكل ء ء

وهذا النوع يدخل فيه الماء بدون أن يحصل لسرعته تغير سريع والاولى أن يسمى هذا النوع بالطارات المتحركة من غير مصادمة لان الماء اوای جسم لا يحدث وظيفة التحريك فى آلة الا بالضغط ولنذكر كثيرا من افراد هذا النوع الاخير مبتدئين بالطارة التى يدخل فيها الماء بسرعة عظيمة ثم يهبط فيها مع بقائه على بعد ثابت من المحور فنقول اما شكل ٧٥ فهى صورة الطارة المذكورة متقنة

الصناعة ويردلها الماء من المجرى ر ج وينصب فى صندوق اسطوانى ثابت
ا ب ح د فينظرف بينه وبين صندوق اسطوانى آخر ثابت هـ ف ومن ذلك
الصندوق يخرج الماء من المنافذ ـ المصنوعة باسفله وينصب فى كفات
الطارة ط التى تدور من تأثير الماء على محورها و و

١٧٥ تتركب الطارة المائية المذكورة من عدة كفات منحنية محصورة بين
مستو يين افقيين وسطحين اسطوانيين مستديرين متحدين فى المحور مع الطارة
ويمكن أن يتصور أن سطح الكفة حادث من تحرك مستقيم افقى باعتماده على
محور الطارة وعلى منحن مرسوم على احد السطحين الاسطوانيين ويكون وضع
الطارة كما ذكرنا تحت حوض يخرج منه الماء بواسطة عدة عظيمة
من الانابيب المائلة المنفرجة المدخل وبذلك يدخل الماء فى الطارة من المنافذ
العليا للفراغ الكائن بين الكفات ويخرج من المنافذ السفلى للفراغ المذكور
ويمكن وضع الآلة بحيث تكون محققة للشروط الاربعة اللازمة لقابل مائى
مضبوط جدا وهى

اولا أن يهبط الماء من الحوض الاعلى الى أن يدخل فى الطارة بدون أن يحصل له
شغل مقاوم معتبر

وثانيا أن يدخل الماء فى الطارة بدون أن يصادمها

وثالثا أن لا يكون له عند خروجه من الطارة واجتماعه فى حوض الماء الاسفل
الاسرعة حقيقية صغيرة جدا

ورابعا أن يتحرك على صورة خيوط متوازية تقريبا بالابتداء من وقت دخوله
الى وقت خروجه بحيث لا ينشأ عن تأثيراته العنصرية شغل مقاوم معتبر ولنوضح
هذه الشروط فنقول

الشرط الاول

١٧٦ لاجل استيفاء هذا الشرط يلزم أن تكون موصلات صب الماء
على الطارة منفرجة المدخل من جهة الحوض الاعلى لاجل اجتناب الشغل
المقاوم الذى يحدث فى مبدأ الانابيب الاسطوانية او المنشورية

الشرط الثانى

١٧٧ لاجل استيفائه يفرض أن وسع الكفة صغير جدا ويعتبر عنصر مادى من عناصر المائع عند دخوله للطارة من النقطة ا كما فى (الشكل ٥٩) وليكن ه سرعة الماء وهذه السرعة مبينة شدة واتجاها بالمستقيم اح المماس للاسطوانة التى يوجد عليها منحنى الكفة اَب و ى الزاوية الحادة م اح الحادثة من هذه السرعة مع الافق و ع سرعة الكفة وهذه السرعة مبينة شدة واتجاها بالمستقيم ام فتكون السرعة النسبية للطارة محصلة للسرعة ه والسرعة مساوية ومضادة للسرعة ع ومبينة بالمستقيم الك ولتكن و شدة هذه المحصلة و اك اتجاهها المساوى للمستقيم م ح والموازى له فيحدث

$$و^٢ = ه^٢ + ع^٢ - ٢ ه ع جتا ى \qquad (١)$$

والاتجاه ان هو الذى يلزم أن يكون للجزء الاول من الكفة لاجل استيفاء الشرط الثانى

الشرط الثالث

١٧٨ هبوط العنصر المائع المذكور على المنحنى اَب يكتسب بالتثاقل ازديادا فى السرعة ولا يحدث شغل ما من القوة المبعدة عن المركز التى يلزم اعتبارها على العموم فى التحرك المستدير بمقتضى النظرية المقررة فى الباب الرابع من علم الميكانيكا العمومية لان المتحرك يكون دائما على بعد واحد من محور الدوران

وليكن وَ السرعة النسبية للعنصر المتحرك المذكور على الكفة عند وصوله الى النقطة بَ و ء السمك الرأسى للطارة فيحدث معنا بقطع النظر عن الاحتكاك

$$وَ^٢ = و^٢ + ٢ ح ء \qquad (٢)$$

وليكن هَ السرعة الحقيقية للمائع عند خروجه من النقطة بَ وهذه السرعة المبينة بالمستقيم بَحَ هى محصلة السرعة وَ المبينة بالمستقيم

بَ نَ والسرعة ع التى هى سرعة الطارة والمبينة بالمستقيم بَ مَ = ام
وليكن ىَ الزاوية الحادّة الحادثة من الكفة مع الافق فى النقطة بَ فيحدث

هَ٢ = وَ٢ + ع٢ — ٢ وَ ع جتا ىَ (٣)

ولا يمكن ان تكون هذه الكمية معدومة بالكلية وانما تقرب من صفر كلما
صغرت الزاوية ىَ فاذا كانت ىَ صغيرة جدّا فان هَ تكون كذلك
متى جعل وَ = ع ولنفرض حينئذ أن

وَ = ع (٤)

الشرط الرابع

١٧٩ يستوفى هذا الشرط اذا لم يحدث للماء اختناق من المجرى المتكوّن
من كفتين متتاليتين ويسهل عدم الاختناق بابعاد الاسطوانتين المحتويتين على
الكفات ابعادا كبيرا كافيا

١٨٠ وتستعمل المعادلات الاربعة المتقدمة فى حساب انشاء الطارة فيجمع معادلة
(١) الى معادلة (٢) وجعل وَ = ع يحدث

هَ٢ + ٢ ح ى — ٢ هـ ع جتا ىَ = ٠

وينتج من ذلك أن

$$ع = \frac{هَ^٢ + ٢ ح ى}{٢ هـ جتا ىَ}$$

فاذا كانت موصلات الماء الى الطارة منفرجة المدخل كما يمكن حصول ذلك
فان $\frac{هـ^٢}{٢ح}$ تكون مساوية تقريبا للارتفاع الموجود بين مستوى توازن
الماء فى الحوض الاعلى وبين المستوى الاعلى للطارة ولنجعل ىَ رمزا الى
هذا الارتفاع فتكون الكمية هـ٢ + ٢ ح ى بعد قسمتها على ٢ ح
مساوية تقريبا لارتفاع السقوط ىَ + ى محسوبا من مستوى توازن
الماء فى الحوض الاعلى الى مستوى الطارة الاسفل وليكن د رمزا
الى هذا الارتفاع المساوى ى + ىَ فيحدث

$$ع = \frac{حد}{جتا ـــ \sqrt{٢حدَ}} \quad \text{او}$$

$$\frac{ع^٢}{٢ح} = \frac{د^٢}{٤دَ} \times \frac{١}{جتا^٢ ـــ} \qquad (٥)$$

فاذا كان د معلوما فانه يمكن أن يعين مع الاختيار اثنتان من الكميات ـــ و دَ و ع الثلاثة وليكن مثلا ـــ = ٤٥° أو جتا ـــ = $\frac{١}{٢}\sqrt{٢}$، و دَ = $\frac{٣}{٤}$ د فيستنتج من ذلك

$$ع = \sqrt{٢حد} \times \sqrt{\frac{٢}{٣}} = ٠٫٨١٦ \sqrt{٢حد}$$

١٨١ وحيث تعين مقدار ع أو وَ يتحصل مقدار ٥َ بواسطة معادلة (٣) التي تؤول باعتبار أن وَ = ع الى

$$٥َ^٢ = ٢ ع^٢ (١ ــ جتا ـــَ) \qquad (٦)$$

وليكن مثلا ـــَ = ٢٥° أو جتا ـــَ = ٠٫٩ فيحدث

$$٥َ^٢ = ٠٫٢ ع^٢$$

ويستخرج من فرض المثال المتقدم

$$\frac{٥َ^٢}{٢ح} = ٠٫١٣٣ د$$

ومن هنا ينتج أن الشغل المحرك الواصل للطارة يكون فى الفرض المذكور ٠٫٨٦٧ من الشغل الحقيقى للسقوط بفرض مستوى الطارة الاسفل منطبقا على مستوى توازن الماء فى الحوض الاسفل

١٨٢ ويكون مقدار الشغل الواصل للطارة عظيما كلما صغرت السرعة ٥َ وبابدال ع فى معادلة (٦) بمقدارها المقرر فى معادلة (٥) يحدث

$$\frac{٥َ^٢}{٢ح} \times \frac{١}{د} = \frac{د}{٢دَ} \times \frac{١ ــ جتا ـــَ}{جتا^٢ ـــ}$$

ويشاهد أن هذه الكمية التى هى النسبة الحاصلة بين مفقود الشغل والشغل الحقيقى للسقوط تتناقص كلما تزايد دَ أو تناقص د الذى هو سمك الطارة

وصغرت

وصغرت الزاوية ب ولاجل اتقان هذه الطارات يحتاج الى تجاريب تدل على الحدود الاكثر موافقة لمقدار النسبة ر/د ولمقداري الزاويتين ب و بَ ولمكررات التصحيح التي يجب ادخالها في القوانين لاجل تصحيحها بالنظر الى الاحتكاكات

ثم أن المهندس أولير قد عين وضع هذه الطارة في سنة ١٧٥٤ من الميلاد ووضع المهندس بوردا النظرية المتعلقة بذلك في سنة ١٧٦٧ مسيحية وعضده نافيير وبوردان ومع ذلك فهذه الطارة التي يظهر انها قابلة لنتائج عظيمة تحتاج ايضا الى بعض معارف جيدة ومحققة بالعمل فيما يتعلق بالمسافة

الفصل السابع

في الطارات التي يدخل فيها الماء بسرعة عظيمة ثم يهبط فيها آخذا في القرب من المحور (وهي شبيهة بسابقتها)

١٨٣ يمكن جعل الفراغ الموجود بين كل كفتين من الطارة على وجه به يخرج الماء من نقطة مختلفة اقرب الى المحور من نقطة الدخول وليكن كما في الحالة المتقدمة ه رمزا للسرعة الحقيقية للماء عند دخوله في الطارة و ع رمزا للسرعة الحقيقية للطارة في نقطة الدخول و ب رمز الزاوية الحادثة من هاتين السرعتين و و رمزا للسرعة النسبية للماء عند دخوله في الطارة فيكون اتجاه السرعة و هو الذي يلزم أن يكون للجزء الاول من الكفة وتكون شدة و معينة كما في الحالة المتقدمة بهذه المعادلة

$$و^٢ = ه^٢ + ع^٢ - ٢ ه ع جتا ب \quad (١)$$

١٨٤ وفي مدة تحرك الماء في كفات الطارة تكون تغيرات الحدة في التحرك النسبي تابعة لتغيرات الحدة في التحرك الحقيقي انظر (بند ١٧١) من علم الميكانيكا العمومية بحيث تعتبر زيادة على القوى الحقيقية (وهي التثاقل وتأثير العناصر على بعضها ومقاومة الكفة) القوة المبعدة التي شدتها م يه^٢ س في كل نقطة مجسمها م وبعدها س عن محور الدوران بجعل يه

رمزا الى السرعة الزاوية للطارة فاذا تقرر ذلك فلنطبق على النقطة المادية المائعة قضية تأثير الشغل فاذن يحدث معنا بمقتضى هذه القضية وجعل وَ رمزا الى السرعة النسبية فى نقطة الخروج أن ازدياد الحدة النسبية يكون

$$\frac{1}{2} م (وَ^2 - و^2)$$

وحيث اهمل الاحتكاك وكان شغل مقاومات الكفة معدوما بسبب انها عمودية على السرعة النسبية لايعتبر الا قوتان احداهما التثاقل وشغلها م ح ى وثانيهما القوة المبعدة وشغلها كما م يه^2 سـ فاس وهو تكامل مأخوذ من نصف القطر نق الذى هو نصف قطر نقطة الدخول الى نقَ الذى هو نصف قطر نقطة الخروج ومقداره

$$\frac{1}{2} م يه^2 (نقَ^2 - نق^2) \text{ أو } \frac{1}{2} م (عَ^2 - ع^2)$$

بجعل عَ السرعة الحقيقية للطارة فى نقطة الخروج فاذن يحدث

$$\frac{1}{2} م (وَ^2 - و^2) = م ح ى + \frac{1}{2} م (عَ^2 - ع^2) \text{ أو}$$

$$وَ^2 = و^2 + عَ^2 - ع^2 + ٢ ح ى \qquad (٢)$$

ولنجعل الآن ـَ رمزا للزاوية الحادثة من السرعة وَ التى هى سرعة الجزء الاخير من الكفة مع مماس الدائرة التى ترسمها نقطة الخروج فيحدث معنا كما تقدم فى الفصل السادس مقدار السرعة ـهَ الحقيقية للماء عند خروجه بواسطة معادلة

$$هَ^2 = وَ^2 + عَ^2 - ٢ وَ عَ جتا ـَ \qquad (٣)$$

ويلزم أن تكون هذه السرعة صغيرة ما امكن وبذلك يجعل جتا ـَ قريبا من الواحدة و وَ = عَ وبهذا الفرض تؤول معادلة (٢) الى

$$و^2 - ع^2 + ٢ ح ى = ٠$$

فحينئذ تكون الارتباطات التى بين الكميات ه و ع و و و ى و جتا ـ عين الارتباطات المتقدمة فى طارة اولير ويتحصل ايضا من ضم معادلة (١) الى معادلة (٢)

$$ه^٢ + ٢ جـ د - ٢ ه ع جتا ى = ٠$$

ومنها ينتج

$$ع^٢ = \frac{ه^٢ + ٢ جـ د}{٢ ه جتا ى}$$ او

$$ع = \frac{جـ د}{جتا ى \sqrt{٢ جـ د}}$$

١٨٥ والفرق بين هذه الطارة والمتقدمة وان كانت احوالهما واحدة أن نَق في هذه اذا كان اصغر من نق في تلك فان السرعتين وَ و هَ يكونان صغيرتين عن مقدارهما في الحالة المتقدمة غير انه يصعب تحقيق هذه الفائدة بالعمل لانه كلما صغرت السرعة النسبية التي تعينت بالحساب آنفا لزم لاجل استعمال النظرية المتقدمة ان يزداد قطع الفراغ الكائن بين كل كفتين ولا بد لصانع الطارات من بعض تجاريب في هذا الشأن لكي يزداد نفعها

الفصل الثامن

في الطارات التي يتحرك فيها الماء تحركا افقيا (وهي طارات فورنيرون)

١٨٦ تتركب هذه الطارات كما في (شكل ٧٦) من رقعة مستديرة اا مثبتة باسفل السهم د وتكون هذه الرقعة في العادة من الحديد الزهر ينحصر بينها وبين الرقعة الحلقية ج كفات رأسية ب ب فالماء المحرك للطارة يرد من صندوق اسطواني ثابت هـ هـ وينحصر بينه وبين باب الصرف المستدير رر وبين الاسطوانة المركزية ف ف التي يمر بفراغها سهم الطارة ويكون للرقعة ج ج المثبتة بالاسطوانة المركزية سطوح منحنية تجبر الماء على الورود في الكفات بزاوية معينة فعند ما يراد تحريك الطارة أو ايقافها يرفع باب الصرف رر أو يغلق بواسطة ثلاثة سوق ث مثبتة من اسفلها بالباب المذكور ومحلزة من اطرافها العليا التي تبيت بثلاث ما آوى هي سرر لثلاث طارات مضرسة ق تتصل اضراسها بالطارة م المعروفة

بالبطالة فى الصنايع بمعنى انها تلف حول سهمها بدون أن تؤثر فيه اذا تقرر هذا سهل ادراك حركة باب الصرف التى تحصل من تحرك الطارة م بكيفية ما

وبين هذه الطارات والطارات التى تقدم ذكرها (من بند ١٨٣ الى بند ١٨٤) مشابهة عظيمة ولا تخالفها الا فى امرين احدهما أن الماء فى هذه يتحرك افقيا بدل أن يهبط فى الكفات وثانيهما أن هذه الطارة من حيث انها مغمورة فى الحوض الاسفل فالفراغ الموجود بين كل كفتين يكون مملوأ بالماء وحيث كان قطع الفراغ العرضى متغيرا لا يمكن ان يفرض أن الضغط ثابت بين العناصر السائلة فحينئذ لا يمكن اعتبارها متحركة كما لو كانت مفترقة عن بعضها

ولا نذكر هنا الا الحالة البسيطة التى يكون فيها باب الصرف مرفوعا بكمية مساوية لبعد الرقعتين الافقيتين اللتين تنحصر بينهما كفات الطارة ونسلم بناء على ذلك أن الماء يجرى بدون أن يحصل لسرعته تغير دفعى ثم نقطع النظر عن الاحتكاكات والتأثيرات العنصرية والتأثير الحاصل من المفوت الموجود بين المنفذ والطارة

ولنجعل ه رمزا للسرعة الحقيقية لخيط مائع عند خروجه من المنفذ ودخوله فى الطارة من النقطة ا و د رمزا الى ارتفاع الماء فى الحوض الاعلى فوق النقطة ا المذكورة

و ضـ رمزا للضغط المائع الواقع على كل متر مربع فى النقطة المتقدمة

و ضـ رمزا الى ضغط الجو فيحدث بقطع النظر عن الاحتكاكات

$$\frac{ه^2}{2ج} = د + \frac{ضـ - ضـ}{ط} \quad \cdots\cdots \quad (1)$$

وليكن اح كماف (شكل ٦٠) مستقيما دالا شدة واتجاها على السرعة ه و أم مستقيما آخر دالا شدة واتجاها ايضا على ع التى هى سرعة الطارة فى النقطة ا فيستخرج من ذلك المستقيم ان المبين لاتجاه وشدة السرعة النسبية و للماء عند دخوله بالطارة بواسطة معادلة

$$\text{وَ}^{2} = \text{ه}^{2} + \text{عَ}^{2} - 2\ \text{ه}\ \text{عَ}\ \text{جتا}\ \text{ى} \qquad (2)$$

التي فيها ى رمز للزاوية م ا ح

ولاجل اجتناب مصادمة الماء للطارة يلزم ان يكون للجزء الاوّل من الكفة الاتجاه ان للسرعة النسبية و ولنجعل الآن وَ رمزا للسرعة النسبية للماء عند خروجه من النقطة ب التي هي احدى نقط الطارة و عَ رمزا لسرعة الطارة في النقطة ب المذكورة و دَ رمز الارتفاع هذه النقطة تحت مستوى توازن الماء في الحوض الاسفل

فيؤخذ من ذلك أن ضغط المائع في النقطة ب يكون ضَ + طدَ اذا تقرر هذا فلنطبق على خيط المائع ا ب قضية تأثير الشغل في التحرك النسبي لمحاور تدور بالسرعة يه الزاويه فلذا نحلل الخيط ا ب الى عدد عظيم جدّا من مجسمات متوالية يساوي كل منها م ونعتبر الزمن الصغير الذي ينتقل فيه احد المجسمات المذكورة من وضعه الى وضع المجسم الذي يليه فيكون في هذا الزمن ازدياد حدة الخيط

$$\frac{1}{2}\ \text{م}\ (\text{وَ}^{2} - \text{و}^{2})$$

ويكون شغل الضغط الخلفي مساويا ضـ مضروبا في الحجم الحادث من القطع الخلفي للخيط وهذا الحجم هو $\frac{\text{م ح}}{\text{ط}}$ وحينئذ يكون الشغل المذكور $\frac{\text{م ح ضـ}}{\text{ط}}$

ويكون شغل الضغط الامامي ايضا $-\ \frac{\text{م ح}}{\text{ط}}\ (\text{ضَ} + \text{طدَ})$

فاذن يكون مجموع شغلي الضغطين $\text{م ح}\ \left(\frac{\text{ضـ} - \text{ضَ}}{\text{ط}} - \text{دَ}\right)$

ويكون شغل القوة المبعدة على احد المجسمات م الصغير م يه² سـ فاسـ بجعل سـ رمزا البعد المجسم المذكور عن محور الدوران في مبدأ الزمن ز الصغير جدّا و سـ + فاسـ رمزا لبعد المجسم الموجود امامه المنقول الى وضعه فاذن يكون هذا الشغل بالنسبة الى الخيط ا ب بتمامه

$$\frac{1}{2}\ \text{م}\ \text{يه}\ (\text{نقَ}^{2} - \text{نق}^{2})\ \text{أو}\ \frac{1}{2}\ \text{م}\ (\text{عَ}^{2} - \text{ع}^{2})$$

ويكون شغل التثاقل على الخيط معدوما لكون تحركه افقيا فيحدث معنا حينئذ

$\frac{1}{٢}$ م (وَ٢ ـــ و٢) = م ح (ضـ ـــ ضـَ / ط ـــ ىَ) + $\frac{1}{٢}$ م (عَ٢ ـــ ع٢) أو

وَ٢ ـــ و٢ + ع٢ ـــ عَ٢ / ٢ ح = ضـ ـــ ضـَ / ط ـــ ىَ (٣)

وحيث كانت السرعتان ع و عَ مناسبتين لنصفى القطرين نق و نقَ اللذين هما نصفا قطرى محيطى الطارة الداخل والخارج يحدث

ع نقَ = عَ نق (٤)

وينتج من عدم قبول الماء للضغط ودوام التحرك معادلة خامسة وبيان ذلك أن يأخذ بالابتداء من النقطتين ا و ب القوسان اا َ و ب بَ الصغيران جدا المرموز اليهما بالرمزين ل و لَ والمناسبان لنصفى قطريهما وهما نق و نقَ فينتج من تساوى الحجمين المتصرفين من القطعين المائلين اللذين قاعدتاهما القوسان ل و لَ معادلة

ه ل جا ىـ = وَ لَ جا ىـَ

او انه يحدث بإبدال ل و لَ بنصفى القطرين نق و نقَ المناسبين لهما

ه نق جا ىـ = وَ نقَ جا ىـَ (٥)

فينتج اخيرا من شرط حصول النهاية الكبرى للشغل الواصل للطارة بالنظر الى صغر الزاوية

وَ = عَ (٦)

١٨٧ ولنستخرج من حل المعادلات الستة المتقدمة بالطرق الجبرية نتائجها وهى

انه اذا اضيفت معادلة (١) الى معادلة (٣) وجعل فى مجموعهما وَ = عَ وجعل د رمزا الى الارتفاع الكلى للسقوط ى ـــ ىَ يحدث

ه٢ + ع٢ ـــ و٢ / ٢ ح = د (٧)

وبمزج هذه المعادلة بمعادلة (٢) يحدث

$$\frac{ه\, ع\, جتا\, ے}{ح} = د \qquad (٨)$$

وينتج من المعادلات الاربعة البسيطة وهى (٤) و (٥) و (٦) و (٨) معادلة

$$\frac{عَ^{٢}}{ح٢} = \frac{١}{٢}\, د\, \frac{ظا\, ے}{جا\, ےَ} \qquad (٩)$$

ولنجعل ے = ٣٦° و ےَ = ٢٥° مثلا فيحدث

$$\frac{عَ^{٢}}{ح٢} = \frac{١}{٢}\, د \times \frac{٠٫٧٣}{٠٫٤٢} = ٠٫٨٧\, د \quad أو$$

$$عَ = ٠٫٩٣ \sqrt{٢\, ح\, د}$$

وذلك يكون مقدار سرعة محيط الطارة الخارج بواسطة ارتفاع السقوط لو امكن تحقيق الفروض المتقدمة

١٨٨ ويتحصل بواسطة معادلة (٩) مقدار السرعة هَ الحقيقية للماء عند خروجه من الطارة كما تقدم فى (بند ١٨١) وذلك بان يجعل وَ = عَ فى معادلة $هَ^{٢} = وَ^{٢} + عَ^{٢} - ٢\, وَ\, عَ\, جتا\, ےَ$ فيحدث

$$\frac{هَ^{٢}}{ح٢} = \frac{٢\, عَ^{٢}}{ح٢} (١ - جتا\, ےَ)$$

ثم

$$\frac{هَ^{٢}}{ح٢} = د\, \frac{ظا\, ے(١ - جتا\, ےَ)}{جا\, ےَ}$$

وباستعمال الفروض التى جعلت امثلة فيما تقدم يحدث

$$\frac{هَ^{٢}}{ح٢} = ٠٫٢ \times ٠٫٨٧\, د = ٠٫١٧\, د$$

ومن هنا ينتج بقطع النظر عن تأثير الاحتكاكات ومقاومات اخر مهملة أن الشغل الواصل للطارة يكون ٠٫٨٣ من الشغل الحقيقى للسقوط

١٨٩ ولنحسب بناء على الفرض المتقدم حجم هـ المتصرف فى الثانية

الواحدة فتجعل ح دالاعلى انغراد المحيط المستعمل قاعدة لمنافذ التصريف وتجعل ايضا ى دالاعلى سمك الطارة من داخلها فيحدث ه = ح ى جا ى × ه

ويتحصل من معادلات (٨) و (٤) و (٩)

$$\frac{ه^{2}}{2د} \times \frac{ع'^{2}}{2د}\ \text{جتا}^{2} ى = \frac{1}{4} د^{2} \left(\frac{نق'}{نق}\right)^{2}$$

$$\text{او}\quad \frac{ه^{2}}{2د} \times \frac{1}{2} د \ \frac{\text{جا}ى\ \text{جتا}ى}{\text{جا}ى'} = \frac{1}{4} د^{2} \left(\frac{نق'}{نق}\right)^{2}$$

$$\text{او}\quad \frac{ه^{2}}{2د} = د\ \frac{\text{جا}ى}{\text{جا}2ى'} \left(\frac{نق'}{نق}\right)^{2}$$

فاذا جعل $ى' = ٢٥^{\circ}$ و $ى = ٣٦^{\circ}$ و $\frac{نق'}{نق} = ١٫٢$

تحصل

$$\frac{ه^{2}}{2د} = ٠٫٦٤\ د \quad \text{أو}\quad ه = ٠٫٨٠ \sqrt{2دد}$$

ومن هنا يستخرج المتصرف ه

١٩٠ بواسطة القوانين المتقدمة مع فرض ابعاد الطارة معلومة وكذلك سقوطها يمكن بناء على الفروض المسلمة حساب حجم الماء الذى يتصرف من هذه الطارة المذكورة عند ماتكون ابواب التصريف مرفوعة بالكلية والسرعة التى تأخذها الطارة والشغل الذى يصل اليها لكنه يلزم اعتبار أن المقاومات المهملة فى النظرية المتقدمة تغير هذه النتائج وبالعمل يتعين الخطأ

وقد اظهر المهندس مورال فى سنة ١٨٣٨ مسيحية تجاريب عملها فى شأن طارتين متغايرتين انشأهما المهندس فورنيرون فاستبان من هذه التجاريب أن النهاية الكبرى للشغل الواصل فى احدى الطارتين المذكورتين ٠٫٦٩ وفى الاخرى ٠٫٧٩ من الشغل الحقيق للسقوط وكانت فتحة المنفذ مساوية تقريبا البعد رقعة الطارة وفى هذه الحالة وجد المهندس موران المذكور

ه = ٠٫٧٥ $\sqrt{\text{٢ ح د}}$ عوضا عن ه = ٠٫٨٠ $\sqrt{\text{٢ ح د}}$
ثم وجد عَ التى هى سرعة المحيط كانت فى احدى الطارتين تساوى ٠٫٨١ $\sqrt{\text{٢ ح د}}$ وفى الاخرى ٠٫٨٠ $\sqrt{\text{٢ ح د}}$ عوضا عن ٠٫٩٠ $\sqrt{\text{٢ ح د}}$

وبهذه النتائج يمكن عمل الحساب اللازم لانشاء طارة افقية بسقوط معلوم

١٩١ واذا لم يوجد للحجم المتصرف وارتفاع السقوط المقادير التى عمل بالنظر اليها القابل فان نسبة الشغل الواصل للطارة الى الشغل الحقيقى للسقوط لاتكون مفيدة لاسيما اذا لزم أن يكون للطارة سرعة ثابتة تقريبا كما يلزم ذلك فى الطواحين وورش الغزل

ويتضح هذا الحادث بالجدول المستخرج من تجاريب المهندس موران التى عملها فى شأن طارة قطرها يساوى مترين وهاهى صورته

الحجم المتصرف فى الثانية الواحدة	ارتفاع باب المصرف	ارتفاع السقوط	عدد الدورات فى الدقيقة الواحدة	نسبة الشغل الواصل الى الشغل الحقيقى للسقوط
٠٫٦٢	٠٫٠٥م	٣٫٥٨	٦٠٫٠٠	٠٫٢٣٨
١٫٠٧	٠٫٠٩٠	٣٫٢١	٦١٫٦٠	٠٫٣٩٢
١٫٥٧	٠٫١٥	٣٫٠٤	٥٨٫٢٥	٠٫٦٩٦
١٫٨٧	٠٫٢٠	٣٫٣٤	٥٨٫٠٠٠	٠٫٧٠٠
٢٫٤٤	٠٫٢٧	٣٫٣٩	٦١٫٥٠	٠٫٧٩٣

فتغير اعداد الصف الخامس ناشئ بالخصوص من التغير السريع الحاصل لسرعة الماء عند مروره من المنفذ المختنق لباب التصريف الى المجارى المحصورة بين كفات الطارة وقد عمل المهندس پونسليه فى شأن هذه الحالة رسالة عظيمة واراد المهندس فورنيرون بناء على هذا اجتناب هذا الضرر فقسم كل فراغ موجود بين الكفات الى خانات بواسطة الواح افقية موازية لرفعتى الطارة

الفصل التاسع

فى الطارات التى يدخل فيها الماء بسرعة صغيرة ويخرج من منافذ رأسية

١٩٢) وهذه الطارات كاوان تدور حول محورها الشكلى الذى هو رأسى والماء يدخل بدون سرعة محسوسة فى نقط قريبة من هذا المحور ويخرج من منافذ رأسية متفرقة بالتماثل على بعد واحد من المحور المذكور

وصورتها مبينة فى (شكل ٧٧) بمسقط رأسى ومسقط افقى فيرى كما هو مبين فى الشكل أن الماء يرد للطارة من اسفلها بواسطة انبوبة ب ب متصلة بها من الاسفل الى الحوض الاعلى ح ح فيدخل الماء من مركزها ويسيل فى انابيب افقية ن ن عمودية على محورها ويخرج بعد ذلك من اطراف الانابيب المذكورة التى هى عبارة عن منافذ رأسية وخروج الماء منها يكون حاصلا فى جهة مضادة لجهة حركة الطارة التى ينشأ منه دوران سهمها اا وبعد تأثيره ينصب الماء فى الحوض الاسفل الذى مستوى توازنه ه ه

ولنجعل ى رمزا للارتفاع المنسوب للضغط عند دخول الماء و يه رمزا الى السرعة الزاوية للآلة و نق رمزا الى نصف قطر نقطة خروج الماء فى الهواء و ى َ رمزا البعد هذه النقطة تحت نقطة الدخول فباهمال الاحتكاكات واعتبار القوة المبعدة كما تقدم فى (بند ١٨٦) تتحصل السرعة النسبية للخروج وهى و بواسطة المعادلة

و٢ / ٢ح = ى + ىَ + هـ٢ق٢ / ٢ح أو و٢ = ع٢ + ٢ ح دَ

بجعل ع رمزا الى السرعة الحقيقية للطارة فى نقطة الخروج و د رمزا الى مجموع ى + ىَ

ولنجعل ه رمزا للسرعة الحقيقية للماء عند خروجه وهـذه السرعة هى محصلة السرعتين و و ع فاذا فرض أن هاتين السرعتين متضادتان تحصل

ه = و − ع

والحدة التى يحفظها الماء المتصرف فى الثانية الواحدة او الفرق الحاصل بين شغل ش د الحقيق والشغل الواصل للطارة هو ش ه٢ / ٢ح أوهو

ش / ٢ح (√ ع٢ + ٢ ح د − ع)٢

باستبدال ه بمقدارها المتقدم وهو

ه = √ ع٢ + ٢ ح د − ع

وهذا المفقود من الشغل لا يمكن أن يكون معدوما الا انه يمكن تصغير نسبته الى ش د بقدر ما يراد وذلك بان تجعل ع كبيرة بالكفاية ولتكن هـذه النسبة مساوية مثلا ١/١٠ فيحدث

(√ ع٢ + ٢ ح د − ع)٢ = ١/١٠ × ٢ ح دَ او

√ ع٢ + ٢ ح د = ع + √ ١/١٠ ٢ ح د او

ع٢ + ٢ ح د = ع٢ + ٢ ع √ ١/١٠ × ٢ ح د + ١/١٠ ٢ ح دَ

ومن هنا ينتج

ع = ٠ر٩ / ٢ √ ٠ر١ √ ٢ ح د = ١ر٤٢ √ ٢ ح د

وحينئذ يكفى أن تكون سرعة نقطة الخروج مساوية ١ر٤٢ √ ٢ ح د

كى يكون الشغل الواصل للطارة ٩ر٠ × ث ذ غيران هذا الناتج يستدعى صغر احتكاكات المائع بالانية فاذن يلزم ان يجتنب صب المائع المذكور فى انابيب ضيقة

تنبيه صعوبة تصريف حجم عظيم من الماء مع تحقيق الشروط النظرية وصعوبة تنظيم هذا التصريف تمنعان استعمال الطارات المذكورة هنا وان كانت فائدتها بحسب القواعد النظرية كفائدة طارات اولير وفورنيرون

الفصل العاشر

فى طارات ذات الكفات المتحركة فى تيار عظيم القطع

١٩٣ هذه الطارات تتحرك فى تيار قطعه يفوق بكثير سطح الكفات وذلك كطارات طواحين العقبات وصورة هذه الطارات مبينة فى (شكل ٧٨) ويعسر حساب احوال تحرك الماء عند مروره بالطارة وبجوانبها بكيفية مضبوطة لاجل استخراج الشغل الواصل للكفات لكن فيما سيأتى كفاية فى الحصول على الشغل المذكور

ولنجعل ـــ رمزا الى سعة جزء الكفات المغمور بالماء متى كانت الكفات رأسية

و ع رمزا الى سرعة مركز الجزء المذكور

و ع رمزا الى سرعة التيار خلف الطارة

وليفرض أن عدة من الخيوط التى تكون سرعتها ع تمر بين الكفات وتؤول الى سرعتها وهى ع بحيث اذا جعل م رمزا الى مجسم المائع المتصرف من الخيوط المذكور فى الثانية الواحدة فان انتقاص كمية تحرك هذا المجسم فى الزمن المذكور يكون

م (ع — ع)

وليفرض ايضا أن التغير المذكور الحادث لكمية التحرك لا يكون منسوبا الا للمقاومة ق الافقية الحاصلة من الكفات وذلك يؤول الى فرض الانضغاطات

الانضغاطات الحادثة من السائل المحيط بالخيوط المذكورة متوازنة فيحدث بناء على هذا الفرض

$$ن = م (ع ـ ع)$$

فاذن الشغل الواصل للطارة يكون فى الثانية الواحدة مساويا

$$\frac{ش}{ح} = م ع (ع ـ ع)$$

وبالجملة فيمكن أن يفرض أن الجسم م مناسب للسعة س التى هى سعة الكفات للسرعة ع التى هى سرعة التيار وللكثافة ط التى هى كثافة المائع المحرك ومن ذلك يحدث

$$\frac{ش}{ح} = ك \frac{ط س ع ع (ع ـ ع)}{ح}$$

وقد جرب المهندس پونسليه هذا القانون فوجد انه يكون محققا بالكفاية متى جعل فيه ك = ٠٫٨

١٩٤ ومتى كانت ع معلومة فان النهاية الكبرى للكمية $(\frac{ش}{ح})$ تكون بمقتضى القانون المتقدم مقابلة للسرعة ع = $\frac{١}{٢}$ ع وقد دلت التجربة على انه يلزم أن يأخذ للنسبة $\frac{ع}{ع}$ مقدار ٠٫٤٠ فيحدث منها مقدار الشغل المحرك لا يختلف عن النهاية الكبرى المذكورة الا بنحو $\frac{١}{٢٥}$

١٩٥ ولا بد وأن يكون مقدار ارتفاع كفات هذه الطارات من $\frac{١}{٥}$ الى $\frac{١}{٤}$ من نصف قطر الطارة

واذا احيطت جنوب الكفات المذكورة بتاجين كانت كثيرة الجدوى وتكون هذه الطارات فى العادة من ٤م الى ٥م

ويكون عدد الكفات فى العادة ايضا ١٢

وقد اوصى المهندس نافيير بان يكون تباعد هذه الكفات مساويا لارتفاعاتها واوصى ايضا بانه يلزم أن تمال بشرط ان يتكون منها فى الجهة الخلفية لنصف القطر

زاوية قدرها ٣٠° متى كانت الطارة مغمورة من ربع نصف قطرها الى خمسه ويكون الميل المذكور مساويا لزاوية قدرها ١٥° متى كانت الطارة المذكورة مغمورا ثلث نصف قطرها وهذا احد فى الانغمار لا ينبغى تجاوزه هذا وقد وضع المهندسان المشهوران بورنى وايتلوين جدولين كثيرى النفع احدهما يتضمن السرع المنسوبة لارتفاعات متنوعة والآخر يتضمن تسهيل الحسابات المنسوبة لتحرك الماء فى الخلجان والانابيب ولنبدء بجدول السرع المنسوبة للارتفاعات المتنوعة فنقول

جدول السرع المنسوبة للارتفاعات المتنوعة

* (تنبيه) * متى كانت السرعة اقل من متر اعنى انها لم تكن موجودة بالجدول يلزم ضربها فى ١٠ ثم يبحث عن الارتفاع المقابل لها ويقسم قدر الارتفاع على ١٠٠ فالسرعة التى قدرها ٠,٣١ تضرب فى ١٠ فتصير ٣,١٠ ثم يبحث عن الارتفاع المقابل لهذا الناتج فيوجد ٠,٤٨٩٩ وبقسمته على ١٠٠ يكون الارتفاع المطلوب ٠,٠٠٤٨٩٩ ويكون الارتفاع المقابل للسرعة ٠,٠٣١ هو ٠,٠٠٠٠٤٨٩٩

سرعة	ارتفاع مقابل	سرعة	ارتفاع مقابل	سرعة	ارتفاع مقابل
١,٠٠م	٠,٠٥١٠م	١,١٤	٠,٠٦٦٢	١,٢٨	٠,٠٨٣٥
١,٠١	٠,٠٥٢٠	١,١٥	٠,٠٦٧٤	١,٢٩	٠,٠٨٤٨
١,٠٢	٠,٠٥٣٠	١,١٦	٠,٠٦٨٦	١,٣٠	٠,٠٨٦١
١,٠٣	٠,٠٥٤١	١,١٧	٠,٠٦٩٨	١,٣١	٠,٠٨٧٥
١,٠٤	٠,٠٥٥١	١,١٨	٠,٠٧١٠	١,٣٢	٠,٠٨٨٨
١,٠٥	٠,٠٥٦٢	١,١٩	٠,٠٧٢٢	١,٣٣	٠,٠٩٠١
١,٠٦	٠,٠٥٧٣	١,٢٠	٠,٠٧٣٤	١,٣٤	٠,٠٩١٥
١,٠٧	٠,٠٥٨٤	١,٢١	٠,٠٧٤٦	١,٣٥	٠,٠٩٢٩
١,٠٨	٠,٠٥٩٥	١,٢٢	٠,٠٧٥٨	١,٣٦	٠,٠٩٤٣
١,٠٩	٠,٠٦٠٦	١,٢٣	٠,٠٧٧١	١,٣٧	٠,٠٩٥٧
١,١٠	٠,٠٦١٧	١,٢٤	٠,٠٧٨٣	١,٣٨	٠,٠٩٧٠
١,١١	٠,٠٦٢٨	١,٢٥	٠,٠٧٩٧	١,٣٩	٠,٨٩٨٤
١,١٢	٠,٠٦٣٩	١,٢٦	٠,٠٨٠٩	١,٤٠	٠,٠٩٩٩
١,١٣	٠,٠٦٥١	١,٢٧	٠,٠٨٢٢	١,٤١	٠,١٠١٣

سرعة	ارتفاع مقابل	سرعة	ارتفاع مقابل	سرعة	ارتفاع مقابل
١ر٤٢	٠ر١٠٢٨	١ر٦١	٠ر١٣٢١	١ر٨٠	٠ر١٦٥١
١ر٤٣	٠ر١٠٤٢	١ر٦٢	٠ر١٣٣٧	١ر٨١	٠ر١٦٧٠
١ر٤٤	٠ر١٠٥٧	١ر٦٣	٠ر١٣٥٤	١ر٨٢	٠ر١٦٨٨
١ر٤٥	٠ر١٠٧٢	١ر٦٤	٠ر١٣٧١	١ر٨٣	٠ر١٧٠٧
١ر٤٦	٠ر١٠٨٦	١ر٦٥	٠ر١٣٨٨	١ر٨٤	٠ر١٧٢٦
١ر٤٧	٠ر١١٠١	١ر٦٦	٠ر١٤٠٥	١ر٨٥	٠ر١٧٤٥
١ر٤٨	٠ر١١١٦	١ر٦٧	٠ر١٤٢٢	١ر٨٦	٠ر١٧٦٣
١ر٤٩	٠ر١١٣١	١ر٦٨	٠ر١٤٤٠	١ر٨٧	٠ر١٧٨٢
١ر٥٠	٠ر١١٤٧	١ر٦٩	٠ر١٤٥٦	١ر٨٨	٠ر١٨٠١
١ر٥١	٠ر١١٦٢	١ر٧٠	٠ر١٤٧٣	١ر٨٩	٠ر١٨٢٠
١ر٥٢	٠ر١١٧٧	١ر٧١	٠ر١٤٩٠	١ر٩٠	٠ر١٨٤٠
١ر٥٣	٠ر١١٩٣	١ر٧٢	٠ر١٥٠٨	١ر٩١	٠ر١٨٥٩
١ر٥٤	٠ر١٢٠٩	١ر٧٣	٠ر١٥٢٥	١ر٩٢	٠ر١٨٧٣
١ر٥٥	٠ر١٢٢٥	١ر٧٤	٠ر١٥٤٣	١ر٩٣	٠ر١٨٩٨
١ر٥٦	٠ر١٢٤١	١ر٧٥	٠ر١٥٦١	١ر٩٤	٠ر١٩١٨
١ر٥٧	٠ر١٢٥٧	١ر٧٦	٠ر١٥٧٩	١ر٩٥	٠ر١٩٣٨
١ر٥٨	٠ر١٢٧٣	١ر٧٧	٠ر١٥٩٧	١ر٩٦	٠ر١٩٥٨
١ر٥٩	٠ر١٢٨٩	١ر٧٨	٠ر١٦١٥	١ر٩٧	٠ر١٩٧٨
١ر٦٠	٠ر١٣٠٥	١ر٧٩	٠ر١٦٣٣	١ر٩٨	٠ر١٩٩٨

سرعة	ارتفاع مقابل	سرعة	ارتفاع مقابل	سرعة	ارتفاع مقابل
١,٩٩	٠,٢٠١٨	٢,١٨	٠,٢٤٢٢	٢,٣٧	٠,٢٨٦٣
٢,٠٠	٠,٢٠٣٩	٢,١٩	٠,٢٤٤٤	٢,٣٨	٠,٢٨٨٧
٢,٠١	٠,٢٠٥٩	٢,٢٠	٠,٢٤٦٧	٢,٣٩	٠,٢٩١١
٢,٠٢	٠,٢٠٨٠	٢,٢١	٠,٢٤٩٠	٢,٤٠	٠,٢٩٣٦
٢,٠٣	٠,٢١٠٠	٢,٢٢	٠,٢٥١٢	٢,٤١	٠,٢٩٦٠
٢,٠٤	٠,٢١٢١	٢,٢٣	٠,٢٥٣٥	٢,٤٢	٠,٢٩٨٥
٢,٠٥	٠,٢١٤٢	٢,٢٤	٠,٢٥٥٧	٢,٤٣	٠,٣٠١٠
٢,٠٦	٠,٢١٦٣	٢,٢٥	٠,٢٥٨٠	٢,٤٤	٠,٣٠٣٤
٢,٠٧	٠,٢١٨٤	٢,٢٦	٠,٢٦٠٣	٢,٤٥	٠,٣٠٦٠
٢,٠٨	٠,٢٢٠٥	٢,٢٧	٠,٢٦٢٦	٢,٤٦	٠,٣٠٨٥
٢,٠٩	٠,٢٢٢٦	٢,٢٨	٠,٢٦٤٩	٢,٤٧	٠,٣١١٠
٢,١٠	٠,٢٢٤٨	٢,٢٩	٠,٢٦٧٣	٢,٤٨	٠,٣١٣٥
٢,١١	٠,٢٢٦٩	٢,٣٠	٠,٢٦٩٦	٢,٤٩	٠,٣١٦٠
٢,١٢	٠,٢٢٩١	٢,٣١	٠,٢٧٢٠	٢,٥٠	٠,٣١٨٦
٢,١٣	٠,٢٣١٣	٢,٣٢	٠,٢٧٤٣	٢,٥١	٠,٣٢١١
٢,١٤	٠,٢٣٣٤	٢,٣٣	٠,٢٧٦٧	٢,٥٢	٠,٣٢٣٧
٢,١٥	٠,٢٣٥٦	٢,٣٤	٠,٢٧٩١	٢,٥٣	٠,٣٢٦٣
٢,١٦	٠,٢٣٧٨	٢,٣٥	٠,٢٨١٥	٢,٥٤	٠,٣٢٨٩
٢,١٧	٠,٢٤٠٠	٢,٣٦	٠,٢٨٣٩	٢,٥٥	٠,٣٣١٥

سرعة	ارتفاع مقابل	سرعة	ارتفاع مقابل	سرعة	ارتفاع مقابل
٢,٥٦	٠,٣٣٤١	٢,٧٥	٠,٣٨٥٥	٢,٩٤	٠,٤٤٠٦
٢,٥٧	٠,٣٣٦٧	٢,٧٦	٠,٣٨٨٣	٢,٩٥	٠,٤٤٣٦
٢,٥٨	٠,٣٣٩٣	٢,٧٧	٠,٣٩١١	٢,٩٦	٠,٤٤٦٦
٢,٥٩	٠,٣٤١٩	٢,٧٨	٠,٣٩٣٩	٢,٩٧	٠,٤٤٩٦
٢,٦٠	٠,٣٤٤٦	٢,٧٩	٠,٣٩٦٧	٢,٩٨	٠,٤٥٢٦
٢,٦١	٠,٣٤٧٢	٢,٨٠	٠,٣٩٩٦	٢,٩٩	٠,٤٥٥٧
٢,٦٢	٠,٣٤٩٩	٢,٨١	٠,٤٠٢٥	٣,٠٠	٠,٤٥٨٨
٢,٦٣	٠,٣٥٢٦	٢,٨٢	٠,٤٠٥٤	٣,١٠	٠,٤٨٩٩
٢,٦٤	٠,٣٥٥٣	٢,٨٣	٠,٤٠٨٢	٣,٢٠	٠,٥٢٢٠
٢,٦٥	٠,٣٥٨٠	٢,٨٤	٠,٤١١١	٣,٣٠	٠,٥٥٥١
٢,٦٦	٠,٣٦٠٧	٢,٨٥	٠,٤١٤٠	٣,٤٠	٠,٥٨٩٢
٢,٦٧	٠,٣٦٣٤	٢,٨٦	٠,٤١٦٩	٣,٥٠	٠,٦٢٤٤
٢,٦٨	٠,٣٦٦١	٢,٨٧	٠,٤١٩٨	٣,٦٠	٠,٦٦٠٦
٢,٦٩	٠,٣٦٨٨	٢,٨٨	٠,٤١٢٨	٣,٧٠	٠,٦٩٧٨
٢,٧٠	٠,٣٧١٦	٢,٨٩	٠,٤٢٥٧	٣,٨٠	٠,٧٣٦١
٢,٧١	٠,٣٧٤٤	٢,٩٠	٠,٤٢٨٧	٣,٩٠	٠,٧٧٥٣
٢,٧٢	٠,٣٧٧١	٢,٩١	٠,٤٣١٦	٤,٠٠	٠,٨١٥٦
٢,٧٣	٠,٣٧٩٩	٢,٩٢	٠,٤٣٤٦	٤,١٠	٠,٨٥٦٩
٢,٧٤	٠,٣٨٢٧	٢,٩٣	٠,٤٣٧٦	٤,٢٠	٠,٨٩٩٢

سرعة	ارتفاع مقابل	سرعة	ارتفاع مقابل	سرعة	ارتفاع مقابل
٤,٣٠	٠,٩٤٢٥	٦,٢٠	١,٩٥٩٥	٨,١٠	٣,٣٤٤٥
٤,٤٠	٠,٩٨٦٩	٦,٣٠	٢,٠٢٣٢	٨,٢٠	٣,٤٢٧٥
٤,٥٠	١,٠٣٢٢	٦,٤٠	٢,٠٨٧٩	٨,٣٠	٣,٥١١٦
٤,٦٠	١,٠٧٨٦	٦,٥٠	٢,١٥٣٧	٨,٤٠	٣,٥٩٦٨
٤,٧٠	١,١٢٦٠	٦,٦٠	٢,٢٢٠٥	٨,٥٠	٣,٦٨٢٩
٤,٨٠	١,١٧٤٤	٦,٧٠	٢,٢٨٨٣	٨,٦٠	٣,٧٧٠١
٤,٩٠	١,٢٢٣٩	٦,٨٠	٢,٣٥٧١	٨,٧٠	٣,٨٥٨٣
٥,٠٠	١,٢٧٤٤	٦,٩٠	٢,٤٢٦٩	٨,٨٠	٣,٩٤٧٥
٥,١٠	١,٣٢٥٨	٧,٠٠	٢,٤٩٧٨	٨,٩	٤,٠٣٧٧
٥,٢٠	١,٣٧٨٤	٧,١٠	٢,٥٦٩٦	٩,٠٠	٤,١٢٩٠
٥,٣٠	١,٤٣١٩	٧,٢٠	٢,٦٤٢٥	٩,١٠	٤,٢٢١٢
٥,٤٠	١,٤٨٦٤	٧,٣٠	٢,٧١٦٤	٩,٢٠	٤,٣١٤٥
٥,٥٠	١,٥٤٢٠	٧,٤٠	٢,٧٩١٤	٩,٣٠	٤,٤٠٨٨
٥,٦٠	١,٥٩٨٦	٧,٥٠	٢,٨٦٧٣	٠,٤٠	٤,٥٠٤١
٥,٧٠	١,٦٥٦٢	٧,٦٠	٢,٩٤٤٣	٩,٥٠	٤,٦٠٠٥
٥,٨٠	١,٧١٤٨	٧,٧٠	٣,٠٢٢٣	٩,٦٠	٤,٦٩٧٨
٥,٩٠	١,٧٧٤٤	٧,٨٠	٣,١٠١٣	٩,٧٠	٤,٨٠
٦,٠٠	١,٨٣٥١	٧,٩٠	٣,١٨١٣	٩,٨٠	٤,٩٠
٦,١٠	١,٨٩٦٨	٨,٠٠	٣,٢٦٢٤	٩,٩٠	٥,٠٠

جدول لتسهيل الحسابات المنسوبة لتحرك الماء
في الخلجان وفي الانابيب

مقادير مقابلة

سرع متوسطة = وع	لكمية نق ر او (وع + وَع²) في الخلجان		لكمية (وع + وَع²) في الانابيب
	اتلوين	پرونى	پرونى
٠ر٠١	٠ر٠٠٠٠٠٠٣	٠ر٠٠٠٠٠٠٥	٠ر٠٠٠٠٠٠٢
٠ر٠٢	٠ر٠٠٠٠٠٠٦	٠ر٠٠٠٠٠١٠	٠ر٠٠٠٠٠٠٥
٠ر٠٣	٠ر٠٠٠٠٠١١	٠ر٠٠٠٠٠١٦	٠ر٠٠٠٠٠٠٨
٠ر٠٤	٠ر٠٠٠٠٠١٦	٠ر٠٠٠٠٠٢٣	٠ر٠٠٠٠٠١٣
٠ر٠٥	٠ر٠٠٠٠٠٢١	٠ر٠٠٠٠٠٣٠	٠ر٠٠٠٠٠١٧
٠ر٠٦	٠ر٠٠٠٠٠٢٨	٠ر٠٠٠٠٠٣٨	٠ر٠٠٠٠٠٢٣
٠ر٠٧	٠ر٠٠٠٠٠٣٥	٠ر٠٠٠٠٠٤٦	٠ر٠٠٠٠٠٢٩
٠ر٠٨	٠ر٠٠٠٠٠٤٣	٠ر٠٠٠٠٠٥٥	٠ر٠٠٠٠٠٣٦
٠ر٠٩	٠ر٠٠٠٠٠٥١	٠ر٠٠٠٠٠٦٥	٠ر٠٠٠٠٠٤٤
٠ر١٠	٠ر٠٠٠٠٠٦٠	٠ر٠٠٠٠٠٧٥	٠ر٠٠٠٠٠٥٢
٠ر١١	٠ر٠٠٠٠٠٧١	٠ر٠٠٠٠٠٨٦	٠ر٠٠٠٠٠٦١
٠ر١٢	٠ر٠٠٠٠٠٨٢	٠ر٠٠٠٠٠٩٨	٠ر٠٠٠٠٠٧١
٠ر١٣	٠ر٠٠٠٠٠٩٣	٠ر٠٠٠٠١١٠	٠ر٠٠٠٠٠٨١
٠ر١٤	٠ر٠٠٠٠١٠٦	٠ر٠٠٠٠١٢٣	٠ر٠٠٠٠٠٩٣
٠ر١٥	٠ر٠٠٠٠١١٩	٠ر٠٠٠٠١٣٦	٠ر٠٠٠٠١٠٤

مقادير مقابلة

سرعة متوسطة	الكمية نق س أو (و ع + وَ ع²) في الخلجان		الكمية (و ع + وَ ع²) في الانابيب
= ع	اتلوين	بروني	بروني
٠،١٦	٠،٠٠٠٠١٣٢	٠،٠٠٠٠١٥٠	٠،٠٠٠٠١١٧
٠،١٧	٠،٠٠٠٠١٤٧	٠،٠٠٠٠١٦٥	٠،٠٠٠٠١٣٠
٠،١٨	٠،٠٠٠٠١٦٢	٠،٠٠٠٠١٨٠	٠،٠٠٠٠١٤٤
٠،١٩	٠،٠٠٠٠١٧٨	٠،٠٠٠٠١٩٦	٠،٠٠٠٠١٥٩
٠،٢٠	٠،٠٠٠٠١٩٥	٠،٠٠٠٠٢١٣	٠،٠٠٠٠١٧٤
٠،٢١	٠،٠٠٠٠٢١٢	٠،٠٠٠٠٢٣٠	٠،٠٠٠٠١٩٠
٠،٢٢	٠،٠٠٠٠٢٣٠	٠،٠٠٠٠٢٤٧	٠،٠٠٠٠٢٠٧
٠،٢٣	٠،٠٠٠٠٢٤٩	٠،٠٠٠٠٢٦٦	٠،٠٠٠٠٢٢٤
٠،٢٤	٠،٠٠٠٠٢٦٩	٠،٠٠٠٠٢٨٥	٠،٠٠٠٠٢٤٢
٠،٢٥	٠،٠٠٠٠٢٨٩	٠،٠٠٠٠٣٠٤	٠،٠٠٠٠٢٦١
٠،٢٦	٠،٠٠٠٠٣١٠	٠،٠٠٠٠٣٢٥	٠،٠٠٠٠٢٨٠
٠،٢٧	٠،٠٠٠٠٣٣٢	٠،٠٠٠٠٣٤٦	٠،٠٠٠٠٣٠١
٠،٢٨	٠،٠٠٠٠٣٥٤	٠،٠٠٠٠٣٦٧	٠،٠٠٠٠٣٢٢
٠،٢٩	٠،٠٠٠٠٣٧٨	٠،٠٠٠٠٣٨٩	٠،٠٠٠٠٣٤٣
٠،٣٠	٠،٠٠٠٠٤٠٢	٠،٠٠٠٠٤١٢	٠،٠٠٠٠٣٦٥
٠،٣١	٠،٠٠٠٠٤٢٥	٠،٠٠٠٠٤٣٥	٠،٠٠٠٠٣٨٨
٠،٣٢	٠،٠٠٠٠٤٥٢	٠،٠٠٠٠٤٥٩	٠،٠٠٠٠٤١٢

مقادير مقابلة

سرع متوسطة = وع	الكمية نق س او (وع + وَع٢) في الخلجان — اتلوين	الكمية نق س او (وع + وَع٢) في الخلجان — پرونى	الكمية (وع + وَع٢) في الانابيب — پرونى
٠,٣٣	٠,٠٠٠٠٤٧٨	٠,٠٠٠٠٤٨٤	٠,٠٠٠٠٤٣٦
٠,٣٤	٠,٠٠٠٠٥٠٥	٠,٠٠٠٠٥٠٩	٠,٠٠٠٠٤٦٢
٠,٣٥	٠,٠٠٠٠٥٣٣	٠,٠٠٠٠٥٣٤	٠,٠٠٠٠٤٨٧
٠,٣٦	٠,٠٠٠٠٥٦١	٠,٠٠٠٠٥٦١	٠,٠٠٠٠٥١٤
٠,٣٧	٠,٠٠٠٠٥٩٠	٠,٠٠٠٠٥٨٨	٠,٠٠٠٠٥٤١
٠,٣٨	٠,٠٠٠٠٦٢٠	٠,٠٠٠٠٦١٦	٠,٠٠٠٠٥٦٩
٠,٣٩	٠,٠٠٠٠٦٥١	٠,٠٠٠٠٦٤٤	٠,٠٠٠٠٥٩٧
٠,٤٠	٠,٠٠٠٠٦٨٢	٠,٠٠٠٠٦٧٣	٠,٠٠٠٠٦٢٧
٠,٤١	٠,٠٠٠٠٧١٤	٠,٠٠٠٠٧٠٢	٠,٠٠٠٠٦٥٦
٠,٤٢	٠,٠٠٠٠٧٤٧	٠,٠٠٠٠٧٣٢	٠,٠٠٠٠٦٨٧
٠,٤٣	٠,٠٠٠٠٧٨٠	٠,٠٠٠٠٧٦٣	٠,٠٠٠٠٧١٨
٠,٤٤	٠,٠٠٠٠٨١٤	٠,٠٠٠٠٧٩٤	٠,٠٠٠٠٧٥٠
٠,٤٥	٠,٠٠٠٠٨٤٩	٠,٠٠٠٠٨٢٦	٠,٠٠٠٠٧٨٣
٠,٤٦	٠,٠٠٠٠٨٨٥	٠,٠٠٠٠٨٥٩	٠,٠٠٠٠٨١٧
٠,٤٧	٠,٠٠٠٠٩٢٢	٠,٠٠٠٠٨٩٢	٠,٠٠٠٠٨٥١
٠,٤٨	٠,٠٠٠٠٩٥٩	٠,٠٠٠٠٩٢٦	٠,٠٠٠٠٨٨٦
٠,٤٩	٠,٠٠٠٠٩٩٧	٠,٠٠٠٠٩٦٠	٠,٠٠٠٠٩٢١

مقادير مقابلة

سرع متوسطة	الكمية نق س أو (وع + وَع²) في الخلجان		الكمية (وع + وَع²) في الانابيب
= وع	اتلوين	پرونى	پرونى
٠,٥٠	٠,٠٠٠١٠٣٥	٠,٠٠٠٠٩٩٦	٠,٠٠٠٠٩٥٧
٠,٥١	٠,٠٠٠١٠٧٥	٠,٠٠٠١٠٣١	٠,٠٠٠٠٩٩٤
٠,٥٢	٠,٠٠٠١١١٥	٠,٠٠٠١٠٦٨	٠,٠٠٠١٠٣٢
٠,٥٣	٠,٠٠٠١١٥٥	٠,٠٠٠١١٠٤	٠,٠٠٠١٠٧٠
٠,٥٤	٠,٠٠٠١١٩٧	٠,٠٠٠١١٤٢	٠,٠٠٠١١٠٩
٠,٥٥	٠,٠٠٠١٢٣٩	٠,٠٠٠١١٨٠	٠,٠٠٠١١٤٩
٠,٥٦	٠,٠٠٠١٢٨٢	٠,٠٠٠١٢١٩	٠,٠٠٠١١٨٩
٠,٥٧	٠,٠٠٠١٣٢٦	٠,٠٠٠١٢٥٨	٠,٠٠٠١٢٣٠
٠,٥٨	٠,٠٠٠١٣٧٠	٠,٠٠٠١٢٩٨	٠,٠٠٠١٢٧٢
٠,٥٩	٠,٠٠٠١٤١٦	٠,٠٠٠١٣٣٩	٠,٠٠٠١٣١٥
٠,٦٠	٠,٠٠٠١٤٦١	٠,٠٠٠١٣٨٠	٠,٠٠٠١٣٥٨
٠,٦١	٠,٠٠٠١٥٠٨	٠,٠٠٠١٤٢٢	٠,٠٠٠١٤٠٢
٠,٦٢	٠,٠٠٠١٥٥٦	٠,٠٠٠١٤٦٥	٠,٠٠٠١٤٤٦
٠,٦٣	٠,٠٠٠١٦٠٤	٠,٠٠٠١٥٠٨	٠,٠٠٠١٤٩١
٠,٦٤	٠,٠٠٠١٦٥٣	٠,٠٠٠١٥٥١	٠,٠٠٠١٥٣٧
٠,٦٥	٠,٠٠٠١٧٠٢	٠,٠٠٠١٥٩٦	٠,٠٠٠١٥٨٤
٠,٦٦	٠,٠٠٠١٧٥٣	٠,٠٠٠١٦٤١	٠,٠٠٠١٦٣١

سرع متوسطة = وع	مقادير مقابله لكمية نق ر أو (وع + وَع^٢) في الخلجان		لكمية (وع + وَع^٢) في الانابيب
	اتلوين	برونى	برونى
٠,٦٧	٠,٠٠٠١٨٠٣	٠,٠٠٠١٦٨٦	٠,٠٠٠١٦٧٩
٠,٦٨	٠,٠٠٠١٨٥٥	٠,٠٠٠١٧٣٣	٠,٠٠٠١٧٢٨
٠,٦٩	٠,٠٠٠١٩٠٨	٠,٠٠٠١٧٧٩	٠,٠٠٠١٧٧٨
٠,٧٠	٠,٠٠٠١٩٦١	٠,٠٠٠١٨٢٧	٠,٠٠٠١٨٢٨
٠,٧١	٠,٠٠٠٢٠١٥	٠,٠٠٠١٨٧٥	٠,٠٠٠١٨٧٩
٠,٧٢	٠,٠٠٠٢٠٧٠	٠,٠٠٠١٩٢٤	٠,٠٠٠٠٩٣٠
٠,٧٣	٠,٠٠٠٢١٢٥	٠,٠٠٠١٩٧٣	٠,٠٠٠١٩٨٢
٠,٧٤	٠,٠٠٠٢١٨١	٠,٠٠٠٢٠٢٣	٠,٠٠٠٢٠٣٥
٠,٧٥	٠,٠٠٠٢٢٣٨	٠,٠٠٠٢٠٧٣	٠,٠٠٠٢٠٨٩
٠,٧٦	٠,٠٠٠٢٢٩٦	٠,٠٠٠٢١٢٤	٠,٠٠٠٢١٤٣
٠,٧٧	٠,٠٠٠٢٣٥٤	٠,٠٠٠٢١٧٦	٠,٠٠٠٢١٩٨
٠,٧٨	٠,٠٠٠٢٤١٣	٠,٠٠٠٢٢٢٩	٠,٠٠٠٢٢٥٤
٠,٧٩	٠,٠٠٠٢٤٧٣	٠,٠٠٠٢٢٨٢	٠,٠٠٠٢٣١٠
٠,٨٠	٠,٠٠٠٢٥٣٤	٠,٠٠٠٢٣٣٥	٠,٠٠٠٢٣٦٨
٠,٨١	٠,٠٠٠٢٥٩٥	٠,٠٠٠٢٣٨٩	٠,٠٠٠٢٤٢٥
٠,٨٢	٠,٠٠٠٢٦٥٧	٠,٠٠٠٢٤٤٤	٠,٠٠٠٢٤٨٤
٠,٨٣	٠,٠٠٠٢٧٢٠	٠,٠٠٠٢٥٠٠	٠,٠٠٠٢٥٤٣

سرع متوسطة	مقادير مقابله		
	الكمية نق س أو (وع + وَع¹) في الخلجان		الكمية (وع + وَع²) في الانابيب
= وع	اتيلوين	پرونی	پرونی
٠,٨٤	٠,٠٠٠٢٧٨٣	٠,٠٠٠٢٥٥٦	٠,٠٠٠٢٦٠٣
٠,٨٥	٠,٠٠٠٢٨٤٧	٠,٠٠٠٢٦١٣	٠,٠٠٠٢٦٦٣
٠,٨٦	٠,٠٠٠٢٩١٢	٠,٠٠٠٢٦٧٠	٠,٠٠٠٢٧٢٥
٠,٨٧	٠,٠٠٠٢٩٧٨	٠,٠٠٠٢٧٢٨	٠,٠٠٠٢٧٨٧
٠,٨٨	٠,٠٠٠٣٠٤٤	٠,٠٠٠٢٧٨٦	٠,٠٠٠٢٨٤٩
٠,٨٩	٠,٠٠٠٣١١١	٠,٠٠٠٢٨٤٦	٠,٠٠٠٢٩١٣
٠,٩٠	٠,٠٠٠٣١٧٩	٠,٠٠٠٢٩٠٦	٠,٠٠٠٢٩٧٧
٠,٩١	٠,٠٠٠٣٢٤٨	٠,٠٠٠٢٩٦٦	٠,٠٠٠٣٠٤٢
٠,٩٢	٠,٠٠٠٣٣١٧	٠,٠٠٠٣٠٢٧	٠,٠٠٠٣١٠٧
٠,٩٣	٠,٠٠٠٣٣٨٧	٠,٠٠٠٣٠٨٩	٠,٠٠٠٣١٧٣
٠,٩٤	٠,٠٠٠٣٤٥٨	٠,٠٠٠٣١٥١	٠,٠٠٠٣٢٤٠
٠,٩٥	٠,٠٠٠٣٥٣٠	٠,٠٠٠٣٢١٤	٠,٠٠٠٣٣٠٨
٠,٩٦	٠,٠٠٠٣٦٠٢	٠,٠٠٠٣٢٧٧	٠,٠٠٠٣٣٧٦
٠,٩٧	٠,٠٠٠٣٦٧٥	٠,٠٠٠٣٣٤٢	٠,٠٠٠٣٤٤٥
٠,٩٨	٠,٠٠٠٣٧٤٩	٠,٠٠٠٣٤٠٦	٠,٠٠٠٣٥١٥
٠,٩٩	٠,٠٠٠٣٨٢٣	٠,٠٠٠٣٤٧٢	٠,٠٠٠٣٥٨٥
١,٠٠	٠,٠٠٠٣٨٩٨	٠,٠٠٠٣٥٣٨	٠,٠٠٠٣٦٥٦

سرع متوسطة	مقادير مقابله		
	الكمية نف س أو (و ع + وَ ع²) في الخلجان		الكمية (و ع + وَ ع²) في الانابيب
= و ع	ايتاوين	پرونى	پرونى
١,١٠١	٠,٠٠٠٣٩٧٤	٠,٠٠٠٣٦٠٤	٠,٠٠٠٣٧٢٨
١,٠٢	٠,٠٠٠٤٠٥١	٠,٠٠٠٣٦٧٢	٠,٠٠٠٣٨٠٠
١,٠٣	٠,٠٠٠٤١٢٨	٠,٠٠٠٣٧٣٩	٠,٠٠٠٣٨٧٣
١,٠٤	٠,٠٠٠٤٢٠٦	٠,٠٠٠٣٨٠٨	٠,٠٠٠٣٩٤٧
١,٠٥	٠,٠٠٠٤٢٨٦	٠,٠٠٠٣٨٧٧	٠,٠٠٠٤٠٢٢٠
١,٠٦	٠,٠٠٠٤٣٦٤	٠,٠٠٠٣٩٤٧	٠,٠٠٠٤٠٩٧
١,٠٧	٠,٠٠٠٤٤٤٥	٠,٠٠٠٤٠١٧	٠,٠٠٠٤١٧٣
١,٠٨	٠,٠٠٠٤٥٢٦	٠,٠٠٠٤٠٨٨	٠,٠٠٠٤٢٤٩
١,٠٩	٠,٠٠٠٤٦٠٧	٠,٠٠٠٤١٥٩	٠,٠٠٠٤٣٢٧
١,١٠	٠,٠٠٠٤٦٩٠	٠,٠٠٠٤٢٣٢	٠,٠٠٠٤٤٠٥
١,١١	٠,٠٠٠٤٧٧٣	٠,٠٠٠٤٣٠٤	٠,٠٠٠٤٤٨٣
١,١٢	٠,٠٠٠٤٣٥٧	٠,٠٠٠٤٣٧٨	٠,٠٠٠٤٥٦٣
١,١٣	٠,٠٠٠٤٩٤٢	٠,٠٠٠٤٤٥٢	٠,٠٠٠٤٦٤٣
١,١٤	٠,٠٠٠٥٠٢٧	٠,٠٠٠٤٥٢٧	٠,٠٠٠٤٧٢٤
١,١٥	٠,٠٠٠٥١١٣	٠,٠٠٠٤٦٠٢	٠,٠٠٠٤٨٠٥
١,١٦	٠,٠٠٠٥٢٠٠	٠,٠٠٠٤٦٧٨	٠,٠٠٠٤٨٨٧
١,١٧	٠,٠٠٠٥٢٨٨	٠,٠٠٠٤٧٥٤	٠,٠٠٠٤٩٧٠

سرع متوسطة	مقادير مقابله		
	لكمية نق س أو (وع + وَع٢) فى الخلجان		لكمية (وع + وَع٢) فى الانابيب
= وع	ايتلوين	پرونى	پرونى
١,١٨	٠,٠٠٠٥٣٧٦	٠,٠٠٠٤٨٣١	٠,٠٠٠٥٠٥٤
١,١٩	٠,٠٠٠٥٤٦٥	٠,٠٠٠٤٩٠٩	٠,٠٠٠٥١٣٨
١,٢٠	٠,٠٠٠٥٥٥٥	٠,٠٠٠٤٩٨٨	٠,٠٠٠٥٢٢٣
١,٢١	٠,٠٠٠٥٦٤٦	٠,٠٠٠٥٠٦٧	٠,٠٠٠٥٣٠٩
١,٢٢	٠,٠٠٠٥٧٣٧	٠,٠٠٠٥١٤٦	٠,٠٠٠٥٣٩٥
١,٢٣	٠,٠٠٠٥٨٢٩	٠,٠٠٠٥٢٢٦	٠,٠٠٠٥٤٨٢
١,٢٤	٠,٠٠٠٥٩٢١	٠,٠٠٠٥٣٠٧	٠,٠٠٠٥٥٧٠
١,٢٥	٠,٠٠٠٦٠١٥	٠,٠٠٠٥٣٨٩	٠,٠٠٠٥٦٥٨
١,٢٦	٠,٠٠٠٦١٠٩	٠,٠٠٠٥٤٧١	٠,٠٠٠٥٧٤٧
١,٢٧	٠,٠٠٠٦٢٠٥	٠,٠٠٠٥٥٥٣	٠,٠٠٠٥٨٣٧
١,٢٨	٠,٠٠٠٦٣٠٠	٠,٠٠٠٥٦٣٧	٠,٠٠٠٥٩٢٨
١,٢٩	٠,٠٠٠٦٣٩٦	٠,٠٠٠٥٧٢١	٠,٠٠٠٦٠١٩
١,٣٠	٠,٠٠٠٦٤٩٣	٠,٠٠٠٥٨٠٥	٠,٠٠٠٦١١١
١,٣١	٠,٠٠٠٦٥٩١	٠,٠٠٠٥٨٩٠	٠,٠٠٠٦٢٠٤
١,٣٢	٠,٠٠٠٦٦٩٠	٠,٠٠٠٥٩٧٦	٠,٠٠٠٦٢٩٧
١,٣٣	٠,٠٠٠٦٧٨٩	٠,٠٠٠٦٠٦٣	٠,٠٠٠٦٣٩١
١,٣٤	٠,٠٠٠٦٨٨٩	٠,٠٠٠٦١٥٠	٠,٠٠٠٦٤٨٦

مقادير مقابله			
سرع متوسطة = وع	لكمية نق س او (وع + وَع٢) فى الخلجان		لكمية (وع + وَع٢) فى الانابيب
	اتلوين	پرونى	پرونى
١,٣٥	٠,٠٠٠٦٩٩٠	٠,٠٠٠٦٢٣٧	٠,٠٠٠٦٥٨١
١,٣٦	٠,٠٠٠٧٠٩١	٠,٠٠٠٦٣٢٦	٠,٠٠٠٦٦٧٧
١,٣٧	٠,٠٠٠٧١٩٣	٠,٠٠٠٦٤١٤	٠,٠٠٠٦٧٧٤
١,٣٨	٠,٠٠٠٧٢٩٦	٠,٠٠٠٦٥٠٤	٠,٠٠٠٦٨٧١
١,٣٩	٠,٠٠٠٧٤٠٠	٠,٠٠٠٦٥٩٤	٠,٠٠٠٦٩٧٠
١,٤٠	٠,٠٠٠٧٥٠٤	٠,٠٠٠٦٦٨٥	٠,٠٠٠٧٠٦٩
١,٤١	٠,٠٠٠٧٦٠٩	٠,٠٠٠٦٧٧٦	٠,٠٠٠٧١٦٨
١,٤٢	٠,٠٠٠٧٧١٥	٠,٠٠٠٦٨٦٨	٠,٠٠٠٧٢٦٨
١,٤٣	٠,٠٠٠٧٨٢٢	٠,٠٠٠٦٩٦١	٠,٠٠٠٧٣٦٩
١,٤٤	٠,٠٠٠٧٩٢٩	٠,٠٠٠٧٠٥٤	٠,٠٠٠٧٤٧١
١,٤٥	٠,٠٠٠٨٠٣٧	٠,٠٠٠٧١٤٨	٠,٠٠٠٧٥٧٣
١,٤٦	٠,٠٠٠٨١٤٦	٠,٠٠٠٧٢٤٢	٠,٠٠٠٧٦٧٧
١,٤٧	٠,٠٠٠٨٢٥٨	٠,٠٠٠٧٣٣٧	٠,٠٠٠٧٧٨٠
١,٤٨	٠,٠٠٠٨٣٦٦	٠,٠٠٠٧٤٣٣	٠,٠٠٠٧٨٨٥
١,٤٩	٠,٠٠٠٨٤٧٧	٠,٠٠٠٧٥٢٩	٠,٠٠٠٧٩٩٠
١,٥٠	٠,٠٠٠٨٥٨٩	٠,٠٠٠٧٦٢٦	٠,٠٠٠٨٠٩٦
١,٥١	٠,٠٠٠٨٧٠١	٠,٠٠٠٧٧٢٤	٠,٠٠٠٨٢٠٢

مربع متوسطه	مقادير مقابله		
	الكمية نق س أو (وع + وَع²) في الخلجان		الكمية (وع+وَع²) في الانابيب
= وع	اتلوين	بروني	بروني
١,٥٢	٠,٠٠٠٨٨١٤	٠,٠٠٠٧٨٢٢	٠,٠٠٠٨٣١٠
١,٥٣	٠,٠٠٠٨٩٢٨	٠,٠٠٠٧٩٢١	٠,٠٠٠٨٤١٨
١,٥٤	٠,٠٠٠٩٠٤٣	٠,٠٠٠٨٠٢٠	٠,٠٠٠٨٥٢٦
١,٥٥	٠,٠٠٠٩١٥٨	٠,٠٠٠٨١٢٠	٠,٠٠٠٨٦٣٦
١,٥٦	٠,٠٠٠٩٢٧٤	٠,٠٠٠٨٢٢١	٠,٠٠٠٨٧٤٦
١,٥٧	٠,٠٠٠٩٣٩١	٠,٠٠٠٨٣٢٢	٠,٠٠٠٨٨٥٦
١,٥٨	٠,٠٠٠٩٥٠٩	٠,٠٠٠٨٤٢٤	٠,٠٠٠٨٩٦٨
١,٥٩	٠,٠٠٠٩٦٢٧	٠,٠٠٠٨٥٢٧	٠,٠٠٠٩٠٨٠
١,٦٠	٠,٠٠٠٩٧٤٦	٠,٠٠٠٨٦٣٠	٠,٠٠٠٩١٩٣
١,٦١	٠,٠٠٠٩٨٦٦	٠,٠٠٠٨٧٣٣	٠,٠٠٠٩٣٠٦
١,٦٢	٠,٠٠٠٩٩٨٦	٠,٠٠٠٨٨٣٨	٠,٠٠٠٩٤٢٠
١,٦٣	٠,٠٠١٠١٠٨	٠,٠٠٠٨٩٤٣	٠,٠٠٠٩٥٣٥
١,٦٤	٠,٠٠١٠٢٣٠	٠,٠٠٠٩٠٤٨	٠,٠٠٠٩٦٥١
١,٦٥	٠,٠٠١٠٣٥٢	٠,٠٠٠٩١٥٥	٠,٠٠٠٩٧٦٧
١,٦٦	٠,٠٠١٠٤٧٦	٠,٠٠٠٩٢٦١	٠,٠٠٠٩٨٨٤
١,٦٧	٠,٠٠١٠٥٩٩	٠,٠٠٠٩٣٦٩	٠,٠٠١٠٠٠٢
١,٦٨	٠,٠٠١٠٧٢٥	٠,٠٠٠٩٤٧٧	٠,٠٠١٠١٢٠

مقادير مقابله			
سرع متوسطة = ع	الكمية نق س او (وع + وع²) في الخلجان		الكمية (وع + وَع²) في الانابيب
	اتلوين	بروني	بروني
١,٦٩	٠,٠٠١٠٨٥٠	٠,٠٠٠٩٥٨٦	٠,٠٠١٠٢٤٠
١,٧٠	٠,٠٠١٠٩٧٧	٠,٠٠٠٩٦٩٥	٠,٠٠١٠٣٥٩
١,٧١	٠,٠٠١١١٠٤	٠,٠٠٠٩٨٠٥	٠,٠٠١٠٤٨٠
١,٧٢	٠,٠٠١١٢٣١	٠,٠٠٠٩٩١٥	٠,٠٠١٠٦٠١
١,٧٣	٠,٠٠١١٣٦٠	٠,٠٠١٠٠٢٦	٠,٠٠١٠٧٢٣
١,٧٤	٠,٠٠١١٤٨٩	٠,٠٠١٠١٣٨	٠,٠٠١٠٨٤٥
١,٧٥	٠,٠٠١١٦٢٠	٠,٠٠١٠٢٥١	٠,٠٠١٠٩٦٩
١,٧٦	٠,٠٠١١٧٥٠	٠,٠٠١٠٣٦٤	٠,٠٠١١٠٩٧
١,٧٧	٠,٠٠١١٨٨١	٠,٠٠١٠٤٧٧	٠,٠٠١١٢١٧
١,٧٨	٠,٠٠١٢٠١٤	٠,٠٠١٠٥٩٢	٠,٠٠١١٣٤٣
١,٧٩	٠,٠٠١٢١٤٦	٠,٠٠١٠٧٠٦	٠,٠٠١١٤٦٩
١,٨٠	٠,٠٠١٢٢٨١	٠,٠٠١٠٨٢٢	٠,٠٠١١٥٩٦
١,٨١	٠,٠٠١٢٤١٤	٠,٠٠١٠٩٣٨	٠,٠٠١١٧٢٣
١,٨٢	٠,٠٠١٢٥٥١	٠,٠٠١١٠٥٥	٠,٠٠١١٨٥١
١,٨٣	٠,٠٠١٢٦٨٦	٠,٠٠١١١٧٢	٠,٠٠١١٩٨٠
١,٨٤	٠,٠٠١٢٨٢٢	٠,٠٠١١٢٩٠	٠,٠٠١٢١١٠
١,٨٥	٠,٠٠١٢٩٦٠	٠,٠٠١١٤٠٩	٠,٠٠١٢٢٤٠

مقادير مقابله

سرع متوسطة	الكمية نق س أو (وع + َوع٢) في الخلجان		الكمية (وع + َوع٢) في الانابيب
= ع	اتلوين	برونى	برونى
١,٨٦	٠,٠٠١٣٠٩٧	٠,٠٠١١٥٢٨	٠,٠٠١٢٣٧١
١,٨٧	٠,٠٠١٣٢٣٧	٠,٠٠١١٦٤٨	٠,٠٠١٢٥٠٢
١,٨٨	٠,٠٠١٣٣٧٥	٠,٠٠١١٧٦٨	٠,٠٠١٢٦٣٥
١,٨٩	٠,٠٠١٣٥١٦	٠,٠٠١١٨٨٩	٠,٠٠١٢٧٦٨
١,٩٠	٠,٠٠١٣٦٥٧	٠,٠٠١٢٠١١	٠,٠٠١٢٩٠١
١,٩١	٠,٠٠١٣٧٩٨	٠,٠٠١٢١٣٣	٠,٠٠١٣٠٣٦
١,٩٢	٠,٠٠١٣٩٤١	٠,٠٠١٢٢٥٦	٠,٠٠١٣١٧١
١,٩٣	٠,٠٠١٤٠٨٤	٠,٠٠١٢٣٨٠	٠,٠٠١٣٣٠٧
١,٩٤	٠,٠٠١٤٢٢٨	٠,٠٠١٢٥٠٤	٠,٠٠١٣٤٤٣
١,٩٥	٠,٠٠١٤٣٧٣	٠,٠٠١٢٦٢٨	٠,٠٠١٣٥٨١
١,٩٦	٠,٠٠١٤٥١٩	٠,٠٠١٢٧٥٤	٠,٠٠١٣٧١٨
١,٩٧	٠,٠٠١٤٦٦٤	٠,٠٠١٢٨٨٠	٠,٠٠١٣٨٥٧
١,٩٨	٠,٠٠١٤٨١١	٠,٠٠١٣٠٠٦	٠,٠٠١٣٩٩٦
١,٩٩	٠,٠٠١٤٩٥٩	٠,٠٠١٣١٣٤	٠,٠٠١٤١٣٦
٢,٠٠	٠,٠٠١٥١٠٧	٠,٠٠١٣٢٦٢	٠,٠٠١٤٢٧٧
٢,٠١	٠,٠٠١٥٢٥٧	٠,٠٠١٣٣٩٠	٠,٠٠١٤٤١٨
٢,٠٢	٠,٠٠١٥٤٠٥	٠,٠٠١٣٥١٩	٠,٠٠١٤٥٦٠

سرع متوسطة	مقادير مقابله		
	لكمية نق س أو (و ع + وَ ع٢) في الخلجان		لكمية (و ع + وَ ع٢) في الانابيب
= ع	ايتلوين	برونى	برونى
٢,٠٣	٠,٠٠١٥٥٥٦	٠,٠٠١٣٦٤٩	٠,٠٠١٤٧٠٣
٢,٠٤	٠,٠٠١٥٧٠٧	٠,٠٠١٣٧٧٩	٠,٠٠١٤٨٤٧
٢,٠٥	٠,٠٠١٥٨٥٩	٠,٠٠١٣٩١٠	٠,٠٠١٤٩٩١
٢,٠٦	٠,٠٠١٦٠١٢	٠,٠٠١٤٠٤٢	٠,٠٠١٥١٣٦
٢,٠٧	٠,٠٠١٦١٦٥	٠,٠٠١٤١٧٤	٠,٠٠١٥٢٨١
٢,٠٨	٠,٠٠١٦٣٢٠	٠,٠٠١٤٣٠٧	٠,٠٠١٥٤٢٨
٢,٠٩	٠,٠٠١٦٤٧٤	٠,٠٠١٤٤٤٠	٠,٠٠١٥٥٧٥
٢,١٠	٠,٠٠١٦٦٣٠	٠,٠٠١٤٥٧٤	٠,٠٠١٥٧٢٢
٢,١١	٠,٠٠١٦٧٨٦	٠,٠٠١٤٧٠٩	٠,٠٠١٥٨٧١
٢,١٢	٠,٠٠١٦٩٤٣	٠,٠٠١٤٨٤٤	٠,٠٠١٦٠٢٠
٢,١٣	٠,٠٠١٧١٠١	٠,٠٠١٤٩٨٠	٠,٠٠١٦١٦٩
٢,١٤	٠,٠٠١٧٢٥٧	٠,٠٠١٥١١٧	٠,٠٠١٦٣٢٠
٢,١٥	٠,٠٠١٧٤١٩	٠,٠٠١٥٢٥٤	٠,٠٠١٦٤٧١
٢,١٦	٠,٠٠١٧٥٧٩	٠,٠٠١٥٣٩٢	٠,٠٠١٦٦٢٣
٢,١٧	٠,٠٠١٧٧٤٠	٠,٠٠١٥٥٣٠	٠,٠٠١٦٧٧٥
٢,١٨	٠,٠٠١٧٩٠١	٠,٠٠١٥٦٦٩	٠,٠٠١٦٩٢٨
٢,١٩	٠,٠٠١٨٠٦٣	٠,٠٠١٥٨٠٩	٠,٠٠١٧٠٨٢

سرع متوسطة	مقادير مقابله		
	لكمية نق س أو (وع + وَع٢) في الخلجان		لكمية (وع + وَع٢) في الانابيب
= ع	ايتلوين	بروني	بروني
٢,٢٠	٠,٠٠١٨٢٢٦	٠,٠٠١٥٩٤٩	٠,٠٠١٧٢٣٧
٢,٢١	٠,٠٠١٨٣٨٩	٠,٠٠١٦٠٩٠	٠,٠٠١٧٣٩٢
٢,٢٢	٠,٠٠١٨٥٥٤	٠,٠٠١٦٢٣١	٠,٠٠١٧٥٤٨
٢,٢٣	٠,٠٠١٨٧١٩	٠,٠٠١٦٣٧٣	٠,٠٠١٧٧٠٥
٢,٢٤	٠,٠٠١٨٨٨٥	٠,٠٠١٦٥١٦	٠,٠٠١٧٨٦٢
٢,٢٦	٠,٠٠١٩٢١٨	٠,٠٠١٦٨٠٣	٠,٠٠١٨١٧٩
٢,٢٨	٠,٠٠١٩٥٥٥	٠,٠٠١٧٠٩٣	٠,٠٠١٨٤٩٩
٢,٣٠	٠,٠٠١٩٨٩٥	٠,٠٠١٧٣٨٥	٠,٠٠١٨٨٢٢
٢,٣٢	٠,٠٠٢٠٢٣٨	٠,٠٠١٧٦٨٠	٠,٠٠١٩١٤٧
٢,٣٤	٠,٠٠٢٠٥٨٤	٠,٠٠١٧٩٧٧	٠,٠٠١٩٤٧٥
٢,٣٦	٠,٠٠٢٠٩٣٢	٠,٠٠١٨٢٧٧	٠,٠٠١٩٨٠٦
٢,٣٨	٠,٠٠٢١٢٨٤	٠,٠٠١٨٥٧٩	٠,٠٠٢٠١٣٩
٢,٤٠	٠,٠٠٢١٦٣٧	٠,٠٠١٨٨٨٣	٠,٠٠٢٠٤٧٦
٢,٤٢	٠,٠٠٢١٩٩٥	٠,٠٠١٩١٩٠	٠,٠٠٢٠٨١٥
٢,٤٤	٠,٠٠٢٢٣٥٥	٠,٠٠١٩٥٠٠	٠,٠٠٢١١٥٧
٢,٤٦	٠,٠٠٢٢٧١٨	٠,٠٠١٩٨١٢	٠,٠٠٢١٥٠٢
٢,٤٨	٠,٠٠٢٣٠٨٤	٠,٠٠٢٠١٢٦	٠,٠٠٢١٨٤٩

سرع متوسطة	مقادير مقابله		
	لكمية نق س أو (وع + وَع٢) في الخلجان		لكمية (وع + وَع٢) في الانابيب
= وع	ايتاوين	بروني	بروني
٢٫٥٠	٠٫٠٠٢٣٤٥٣	٠٫٠٠٢٠٤٤٣	٠٫٠٠٢٢١٩٩
٢٫٥٢	٠٫٠٠٢٣٨٢٤	٠٫٠٠٢٠٧٦٣	٠٫٠٠٢٢٥٥٣
٢٫٥٤	٠٫٠٠٢٤١٩٩	٠٫٠٠٢٠٠٨٥	٠٫٠٠٢٢٩٠٨
٢٫٥٦	٠٫٠٠٢٤٥٧٧	٠٫٠٠٢١٤٠٩	٠٫٠٠٢٣٢٨٧
٢٫٥٨	٠٫٠٠٢٥١٤٩	٠٫٠٠٢١٧٣٦	٠٫٠٠٢٣٦٢٩
٢٫٦٠	٠٫٠٠٢٥٥٣٤	٠٫٠٠٢٢٠٦٥	٠٫٠٠٢٣٩٩٣
٢٫٦٢	٠٫٠٠٢٥٩٢٢	٠٫٠٠٢٢٣٩٧	٠٫٠٠٢٤٣٦٠
٢٫٦٤	٠٫٠٠٢٦١١٨	٠٫٠٠٢٢٧٣١	٠٫٠٠٢٤٧٣٠
٢٫٦٦	٠٫٠٠٢٦٥٠٩	٠٫٠٠٢٣٠٦٨	٠٫٠٠٢٥١٠٢
٢٫٦٨	٠٫٠٠٢٦٩٠٥	٠٫٠٠٢٣٤٠٧	٠٫٠٠٢٥٤٧٨
٢٫٧٠	٠٫٠٠٢٧٣٠٣	٠٫٠٠٢٣٧٤٩	٠٫٠٠٢٥٨٥٦
٢٫٧٢	٠٫٠٠٢٧٧٠٤	٠٫٠٠٢٤٠٩٣	٠٫٠٠٢٦٢٣٧
٢٫٧٤	٠٫٠٠٢٨١٠٨	٠٫٠٠٢٤٤٤٠	٠٫٠٠٢٦٦٢١
٢٫٧٦	٠٫٠٠٢٨٥١٥	٠٫٠٠٢٤٧٨٩	٠٫٠٠٢٧٠٠٧
٢٫٧٨	٠٫٠٠٢٨٩٢٥	٠٫٠٠٢٥١٤١	٠٫٠٠٢٧٣٩٧
٢٫٨٠	٠٫٠٠٢٩٣٣٨	٠٫٠٠٢٥٤٩٥	٠٫٠٠٢٧٧٨٩
٢٫٨٢	٠٫٠٠٢٩٧٥٤	٠٫٠٠٢٥٨٥١	٠٫٠٠٢٨١٨٤

سرع متوسطة = وع	مقادير مقابله — الكمية نق س أو (وع + وَع^{٢}) في الخلجان — ايتلوين	الكمية نق س أو (وع + وَع^{٢}) في الخلجان — بروني	الكمية (وع + وَع^{٢}) في الانابيب — بروني
٢,٨٤	٠,٠٠٣٠١٧٢	٠,٠٠٢٦٢١٠	٠,٠٠٢٨٥٨١
٢,٨٦	٠,٠٠٣٠٥٩٤	٠,٠٠٢٦٥٧٢	٠,٠٠٢٨٩٨٢
٢,٨٨	٠,٠٠٣١٠١٨	٠,٠٠٢٦٩٣٦	٠,٠٠٢٩٣٨٥
٢,٩٠	٠,٠٠٣١٤٤٦	٠,٠٠٢٧٣٠٢	٠,٠٠٢٩٧٩١
٢,٩٢	٠,٠٠٣١٨٧٦	٠,٠٠٢٧٦٧١	٠,٠٠٣٠٢٠٠
٢,٩٤	٠,٠٠٣٢٣٠٩	٠,٠٠٢٨٠٤٣	٠,٠٠٣٠٦١٢
٢,٩٦	٠,٠٠٣٢٧٤٥	٠,٠٠٢٨٤١٧	٠,٠٠٣١٠٢٦
٢,٩٨	٠,٠٠٣٣١٨٥	٠,٠٠٢٨٧٩٣	٠,٠٠٣١٤٤٣
٢,٠٠	٠,٠٠٣٣٦٢٧	٠,٠٠٢٩١٧٢	٠,٠٠٣١٨٦٣

فى تحرك الغازات

الفصل الاول

فى التصرف الدوامى لغاز من منفذ صغير فى الحالة التى يقطع النظر فيها عن الاحتكاك

١٩٦ ولنعتبر خيطا من الخيوط التى يتركب منها السائل المتحرك فنقول ليكن اب ا١ب١ كما فى (شكل ٦١) جزأ من هذا الخيط و ق رمزا لسعة القطع اب و ض رمزا للضغط على كل متر مربع من هذا القطع و ع رمزا للسرعة العمودية على القطع المذكور و ق١ و ض١ و ع١ رموزا للكميات المشابهة للمتقدمة فى القطع ا١ب١ و ق و ض و ع رموزا لها فى قطع متوسط حيثما اتفق كالقطع اب

وليكن حد قطعا قريبا جدا من القطع اب و فاى أو ع فان رمزا لبعد هذين القطعين بجعل فان رمزا للزمن الذى تنتقل فيه العناصر من القطع اب الى القطع حد وليكن ايضا فاس رمزا الفرق توازن القطعين المذكورين

ولنطبق على السائل اب حد الاسطوانى الصورة تقريبا قاعدة تحرك مركز الثقل

وفى هذه الحالة يكون لمركز ثقل هذا الجسم عجلة $\frac{فاع}{فان}$ مساوية تقريبا لعجلة عناصر القطع اب

وفى هذه الحالة تكون القوى الخارجة المؤثرة فى الجملة هى اولا ق ض وتؤثر فى القطع اب وثانيا − ق (ض + فاض) وتؤثر فى القطع حد ثم أن الثقل م ح يكون مسقطه على اتجاه التحرك م ح $\frac{فاس}{فاى}$ فاذن يحدث

$$م \frac{فاع}{فان} = م ح \frac{فاس}{فاى} - ق\ فاض$$

فبجعل ط رمزا الثقل متر من الغاز بالنسبة للضغط ض وابدال م بمقداره وهو $\frac{ط}{ح}$ ق ع فان فى الطرف الاول وابداله فى الطرف الثانى

بمقداره وهو $\frac{ط}{ج}$ ء فاى ينتج

$$ع \frac{فاع}{ج} = فاس - \frac{فاضـ}{ط} \qquad (١)$$

١٩٧ فلو كان السائل مائعا كان ط الذى هو ثقل المتر المكعب ثابتا بسبب عدم قبول المائع للضغط وكان يحدث من تكامل معادلة (١) القانون الاخير من (بند ٢)

١٩٨ ويتعلق مقدار ط فى السوائل المرنة بموجب القواعد المعلومة

اولا بجنس الغاز

وثانيا بالضغط ضـ

وثالثا بدرجة الحرارة ع

وينسب الضغط ضـ عادة للضغط المتوسط للجوّ الذى قدره ١٠٣٣٤ كـ على كل متر مربع فى مستوى توازن مياه البحار ولنرمز له على وجه الاختصار بالرمز ضـو

اذا تقرر هذا وكان الكلام فى شأن الهواء الجاف فان مقدار ط يكون عددا من الكيلوغرامات مساويا

$$١٫٢٩٩ \frac{ضـ}{ضـو} \frac{١}{١ + ٠٫٠٠٣٦٧ ع}$$

فاذا كان الهواء رطبا فلاجل اعتبار الكمية الصغيرة الداخلة فى الهواء الجوى يبدل المكرر ع بالكمية ٠٫٠٠٤

واذا كان السائل غازا غير الهواء فانه يلزم لتعيين ط الذى هو ثقل المتر المكعب من الغاز ضرب الكمية المتقدمة فى كثافة هذا الغاز الموجودة بالجداول اعنى فى النسبة الثابتة التى توجد بين ثقل الغاز والهواء المتحدين فى الجسم والضغط والدرجة الحرارية وهذه النسبة هى ٠٫٠٦٨٣ فى الايدروجين الصافى و ٠٫٩٧٨ فى غاز الايدروجين المكربن وهلم جرا ولتكن النسبة المذكورة مبينة بالرمز ف فيحدث متى كان الغاز غير جاف

$$ط = ١٫٢٩٩ \times \frac{ضـ}{ضـو} \times \frac{١}{١ + ٠٫٠٠٤ ع} ف \qquad (٢)$$

وكثيرا مايكون الضغط ضـ معينا بارتفاع عمود من مائع لا بالكيلوغرام وفى

وفى هذه الحالة اذا كان ضـ معادلا لعمود من الماء ارتفاعه م او لعمود من الزيبق ارتفاعه ق فبفرض أن الماء فى النهاية الكبرى من كثافته وان الزيبق فى درجة صفر يحدث

$$\frac{\text{ضـ}}{\text{ضـ}_{\text{و}}} = \frac{\text{م}}{١٠,٣٣} = \frac{\text{ق}}{٠,٧٦} \qquad (٣)$$

١٩٩ وينتج من قانون (٢) انه يمكن فى معادلة (١) ابدال ط بمقداره وهو

$$\text{ط} = \frac{\text{ضـ}}{\text{ك}} \qquad (٤)$$

بجعل

$$\text{ك} = \frac{\text{ضـ}_{\text{و}}(١+٠,٠٠٤\,\text{ح})}{١,٢٩٩\,\text{ب}} = \frac{١٠,٣٣٤(١+٠,٠٠٤\,\text{ح})}{١,٢٩٩\,\text{ب}}$$

$$= \frac{٧٩٥٥(١+٠,٠٠٤\,\text{ح})}{\text{ب}} \qquad (٥)$$

وهى كمية ثابتة مدة تحرك الغاز الذى يفرض ان درجة حرارته ثابتة وعلى ذلك تؤول معادلة (١) الى هذه الصورة

$$\text{ع}\,\frac{\text{فاع}}{\text{ح}} = \text{فاس} - \text{ك}\,\frac{\text{فاضـ}}{\text{ضـ}} \qquad (٦)$$

٢٠٠ هذه المعادلة قابلة لعملية التكامل مع الضبط ويحدث منها بجعل د رمزا لفرق توازن القطع $\text{ا}_{\text{ا}}\,\text{ب}_{\text{ا}}$ تحت القطع $\text{ا}_{\text{ب}}\,\text{ب}_{\text{ب}}$

$$\frac{\text{ع}_{\text{ا}}^{٢} - \text{ع}_{\text{ب}}^{٢}}{٢\,\text{ح}} = \text{د} - ٢,٣٠٢٦\,\text{ك}\,(\text{لو}\,\text{ضـ}_{\text{ا}} - \text{لو}\,\text{ضـ}_{\text{ب}})$$

او

$$\frac{\text{ع}_{\text{ا}}^{٢} - \text{ع}_{\text{ب}}^{٢}}{٢\,\text{ح}} = \text{د} + ٢,٣٠٢٦\,\text{ك}\,\text{لو}\,\frac{\text{ضـ}}{\text{ضـ}_{\text{ا}}} \qquad (٧)$$

٢٠١ ويوجد بين الكميات $\text{ع}_{\text{ب}}$ و $\text{ع}_{\text{ا}}$ و $\text{ضـ}_{\text{ب}}$ و $\text{ضـ}_{\text{ا}}$ ارتباط اخر حادث من تساوى ثقل الغاز المتصرف من قطعين حيثما اتفق فحينئذ يكون الحاصل ط ق ع أو $\frac{\text{ضـ ق ع}}{\text{ك}}$ ثابتا فى سائر امتداد الخيط وحينئذ يحدث

$$\text{ضـ ق ع} = \text{ضـ}_{\text{ب}}\,\text{ق}_{\text{ب}}\,\text{ع}_{\text{ب}} = \text{ضـ}_{\text{ا}}\,\text{ق}_{\text{ا}}\,\text{ع}_{\text{ا}} \qquad (٨)$$

ومن ذلك يستخرج مقدار للسرعة $\text{ع}_{\text{ب}}$ بالنسبة الى السرعة $\text{ع}_{\text{ا}}$ يتحصل من وضعه فى معادلة (٧)

$$\frac{ع_١^٢}{٢ د}\left[١-\left(\frac{ضـ_١}{ضـ_٥}\right)^٢\right] = د + ٢٫٣٠٢٦ لـ لو \frac{ضـ_٥}{ضـ_١} \quad (٩)$$

وبابدال لـ بمقداره (٥) يحدث

$$\frac{ع_١^٢}{٢ د}\left[١-\left(\frac{ضـ_١}{ضـ_٥}\right)^٢\right] = د + ١٨٣١٧ \frac{(١+٠٫٠٠٤ ح)}{ق} لو \frac{ضـ_٥}{ضـ_١} \quad (١٠)$$

٢٠٢ ويستعمل هذا القانون فى التصرف الثابت لغاز فى انية ذات قطعين يمكن أن يعتبر فى كل منهما أن للخيوط سرعة واحدة وضغطا واحدا مهما كانت كيفية تحرك هذه الخيوط فى المسافة الموجودة بين القطعين المذكورين بحيث يمكن اهمال تأثير احتكاك الخيوط المذكورة ببعضها وبالانية

وفى الاحوال الاعتيادية التى يكون فيها هذا الفرض مسلما تكون النسبة $\frac{ضـ_١}{ضـ_٥}$ صغيرة جدا عن ١ ويمكن أن يكون د مهملا ايضا وبذلك تؤول المعادلة المتقدمة الى هذه الصورة

$$\frac{ع_١^٢}{٢ د} = ١٨٣١٧ \frac{(١+٠٫٠٠٤ ح)}{ق} لو \frac{ضـ_٥}{ضـ_١} \quad (١١)$$

٢٠٣ ويمكن البحث عن عمل تكامل معادلة (٦) على وجه التقريب بدون اللوغارتمات

ولذا ينبه فى العمل على أن الضغطين ضـ٥ و ضـ١ لا يختلفان عن بعضهما الا بشئ يسير ويمكن بدون خطأ معتبر ابدال المقام المتغير وهو ضـ بكمية ثابتة مساوية للمتوسط العددى من مقداريه المتطرفين وهما ضـ٥ و ضـ١

وبواسطة هذا الابدال يؤول تكامل معادلة (٦) الى هذه الصورة

$$\frac{ع_١^٢ - ع_٥^٢}{٢ د} = د + لـ \frac{ضـ_٥ - ضـ_١}{\frac{١}{٢}(ضـ_٥ + ضـ_١)}$$

أوانه يؤول بابدال ع٥ بمقداره

$\frac{ص_{١}}{ض_{١}}$ ع المستخرج من معادلة (٨) الى

$$\frac{ح^{٢}}{٢د}\left[١-\left(\frac{ض_{١}}{ض}\right)^{٢}\right]=د+ك\frac{ض-ض_{١}}{\frac{١}{٢}(ض+ض_{١})}\quad(١٢)$$

أوانه يؤول بابدال ك بمقداره (٥) الى

$$\frac{ح^{٢}}{٢د}\left[١-\left(\frac{ض_{١}}{ض}\right)^{٢}\right]=د+٧٩٥٠\times\frac{١+٠٫٠٠٤ع}{ف}\times\frac{ض-ض_{١}}{\frac{١}{٢}(ض+ض_{١})}\quad(١٣)$$

٢٠٤ ومن المهم تحقيق حدود امكان استبدال قانون (١٠) بقانون (١٣) اواحد مكافئيهما (٩) و (١٢) بالاخر

فاذا اريد ذلك كفى ان ينظر هل مقدار الفرق الحادث بين نسبة الحدين الاخيرين من الطرفين التاليين يختلف قليلا عن ١ ام لا وهذه النسبة بمقتضى معادلتي (٩) و (١٢) تكون

$$\frac{٢٫٣٠٢٦\ لو\ \frac{ض}{ض_{١}}}{\frac{ض-ض_{١}}{\frac{١}{٢}(ض+ض_{١})}}\quad أو\quad\frac{٢٫٣٠٢٦\ لو\ \frac{ض}{ض_{١}}}{٢\left[١-\frac{٢}{\frac{ض}{ض_{١}}+١}\right]}$$

فاذا جعل $\frac{ض}{ض_{١}}$ = ١٫٠٥ و ١٫١٠ و ٢ و ٢٫٥ و ٣ و ٤

يحدث للنسبة المذكورة ١٫٠٠٠٢ و ١٫٠٠٠٨ و ١٫٠٣٩٧ و ١٫٠٦٩٠ و ١٫٠٩٨٦ و ١٫١١٦٤

وينتج من ذلك انه متى كانت النسبة $\frac{ض}{ض_{١}}$ لا تتجاوز ٢ امكن

الاعتماد فى الضبط على قانون (١٣)

٢٠٥ ولنجعل $هـ_١$ رمزا الى حجم الغاز المتصرف فى الثانية الواحدة من القطع الذى سعته $ب_١$ والذى يفرض فيه ضغط مشترك $ض_١$ فيحدث

$$هـ_١ = ب_١ ع_١ \qquad (١٤)$$

فاذا كان المطلوب تعيين الحجم هـ المتصرف من الغاز المذكور فى ضغط آخر ض فانه يحدث

$$هـ = \frac{ض_١ هـ_١}{ض}$$

٢٠٦ وينتج من معادلة (١٤) ومن احدى معادلتى (١٠ و ١٣) مقدار التصرف النظرى لمنفذ تام الانفراج وذلك بان يجعل الضغط $ض_١$ مساويا للضغط الحادث من الهواء المحيط بالعرق المتصرف بفرض هذا العرق اسطوانيا تقريبا بمعنى ان يكون مركبا من خيوط متوازية تقريبا ذات سرعة واحدة

٢٠٧ واذا كان منفذ خروج الغاز رقيقا فانه يحصل للعرق انضمام وبمقتضى تجاريب المهندس دوبويسون التى لم تزد فيها النسبة $\frac{ض_١ - ض}{ض}$ عن ٠١٥ ر٠ يكون مكرر المتصرف متغيرا من ٦٣ ر٠ الى ٦٧ ر٠ بحيث يمكن الاعتماد على ٦٥ ر٠ وبذلك يكون

$$هـ_١ = ٠{,}٦٥\ ب_١ ع_١$$

بجعل ب رمزا لسعة المنفذ

٢٠٨ ومتى كان التصرف حاصلا من موصل اصغر قطوعه القطع ب يلزم بمقتضى ماذهب اليه المهندس دوبويسون المذكور أن يبدل ٦٥ ر٠ بعدد ٩٣ ر٠ اذا كان الموصل اسطوانيا وبعدد ٩٤ ر٠ اذا كانت صورته مخروطية خفيفة بمعنى أن زاوية الاقتراب تكون من ١٠ الى ١٢ درجة

٢٠٩ تطبيق على ماتقدم

اذا وجد حوض محتو على هواء ضغطه اكبر من ضغط الجو بكمية مبينة بعمود من الزيبق ارتفاعه ٠٫٠٣ م وكان ضغط الجو ٠٫٧٤٤ من متر ودرجة الحرارة ١٣ وكان المطلوب تعيين حجم الهواء الذى يتصرف من هذا الحوض بواسطة موصل قصير قطره ٠٫٠٧٥ م بفرض أن هذا الحجم محول الى الضغط ٧٦ من البارومتر والى درجة صفر من الترمومترية قال حيث كان الضغطان ض و ض_1 مناسبين للعددين ٧٧٤ و ٧٤٤

يحصل
$$\left[\frac{\text{ض} - \text{ض}_1}{\frac{1}{2}(\text{ض} + \text{ض}_1)}\right] = \frac{٠٫٠٣}{٠٫٧٥٩}$$

وهو مقدار يلزم وضعه فى معادلة (١٣) بان يجعل فيها

$\text{ح} = ١٣$ و $\text{ف} = ١$ ويمكن اهمال $\frac{\text{ض}_1^2}{\text{ض}^2}$ فيحدث

$$\frac{\text{ع}_1^2}{٢\text{ج}} = \text{د} + ٧٩٠٠ \times ١٫٠٥٢ \times \frac{٠٫٠٣}{٠٫٧٥٩} = \text{د} + ٣٣١$$

فحينئذ يشاهد انه يلزم أن يكون الارتفاع د عظيما جدّا كى يكون معتبرا ولنقطع النظر عنه فيحدث

$$\text{ع}_1 = ٨٠٫٦$$

وحيث كان قطع المنفذ $\text{ب} = \frac{١}{٤}\text{ط}(٠٫٠٧٥)^٢ = ٠٫٠٠٤٤١٧$
يكون الحجم المتصرف بالنسبة للضغط ض_1

$$\text{هـ}_1 = ٠٫٩٤\ \text{ب}\,\text{ع}_1 = ٠٫٣٣٤٦$$

ويكون هَ الذى هو حجم الغاز المذكور بالنسبة للضغط ضَ ولدرجة الحرارة حَ

$$\text{هَ} = \text{هـ}_1 \times \frac{\text{ض}_1}{\text{ضَ}} \times \frac{١ + ٠٫٠٠٤\,\text{حَ}}{١ + ٠٫٠٠٤\,\text{ح}}$$

وبجعل $\frac{\text{ض}_1}{\text{ضَ}} = \frac{٠٫٧٤٤}{٠٫٧٦٠}$ و $\text{ح} = ١٣$ و $\text{حَ} = ٠$

يحدث هَ = ٣٣٤٦ر٠ × $\frac{٧٤٤}{٧٦٠}$ × $\frac{١}{١ر٠٥٢}$ = ٣١١٧ر٠

وهو الحجم المطلوب

٢١٠ فاذا كانت النسبة $\frac{ض}{ض_{ا}}$ كبيرة جدا فان القوانين المتقدمة لا تكون مستعملة فى حساب المتصرف الحادث من منفذ رقيق أو من موصل وهذه القوانين مؤسسة على عدة فروض

الفرض الاول ان يكون للعرق المتصرف على بعد صغير من المنفذ قطع تشترك فيه العناصر فى السرعة وضغط مشترك مساو لضغط الهواء المحيط بالعرق ولا يخفى ما فى هذا الفرض من الشك لاسيما فى جعل الضغط مساويا لضغط الهواء المحيط بالعرق متى كان الضغط الداخلى فى الغاز المتصرف من الحوض كبيرا ويمكن كما هو الغالب أن يكون للسائل الخارج من الحوض جزء من الضغط الزائد الموجود فى داخل الحوض المذكور وأن يكون العرق السائل منتشرا بعد الانضمام ويظهر حينئذ ان للخيوط تحركا منحنيا معتبرا ما عدى الخيط المركزى فعلى ذلك يتناقص الضغط بالابتداء من هذا الخيط المركزى الى محيط العرق الذى يكون فيه قريبا من ضغط الهواء المحيط بهذا العرق

الفرض الثانى ان يمكن اهمال الاحتكاك الحاصل مدة التصرف وذلك غير مسلم فى التصرفات التى لها سرعة عظيمة ويؤخذ من هذه التنبيهات انه لا يمكن أن تحسب بكيفية مضبوطة سرعة غاز متصرف فى الفراغ بواسطة القواعد النظرية

الفصل الثانى

فى التحرك الدوامى للغازات فى الانابيب الاسطوانية

٢١١ ولنفرض لاجل سهولة حل هذه المسئلة ان الغاز يتحرك على صورة شقق متوازية

وليكن جزء من السائل كما (فى شكل ٦٢) محصورا بين القطعين اب و حد اللذين بعدهما الصغير جدا المبين بالرمز فاى مقطوع فى الزمن فانه

وحيث

وحيث كان الضغطان الكليان الحاصلان على الوجهين أ ب و ج د هما ـ ض و ـ (ض + فاض) وكان فرق توازنهما ب و هو فاس وكان ثقل المتر المكعب من الغاز الذى ضغطه ض هو ط لا يبقى علينا لاجل تطبيق قاعدة تحرك مركز الثقل على الجزء المعتبر من الغاز الا اعتبار المقاومة الطولية المشابهة للمقاومة الطولية الحاصلة فى تحرك المائع بالانابيب بان تجعل مناسبة

اولا لسطح التماس وهو ح فاش

وثانيا لدالة بدرجة ثانية للسرعة المتوسطة وقد ظهر انها مناسبة ايضا للوزن الخاص بالغاز فحينئذ تكون القوة المذكورة مبينة هكذا

ط ح فاش (وع + وَع٢)

الا ان التجربة دلت على انه يمكن اهمال الحد وع بالنسبة للحد وَع٢ كما يمكن اجراء ذلك ايضا فى الموائع اذا كان لها سرع عظيمة فاذن يحدث معنا معادلة مشابهة للمعادلة المتقدمة فى (بند ١٩٦) وهى

م فاع/فاز = م ح فاس/فاش ـ ـ فاض ـ ط ح وَع٢ فاش

وبابدال م بمقداره ط ـ ع فاز/ح أو ط ـ فاش/ح يحدث

ع فاع/ح = فاس ـ فاض/ط ـ ح/ـ وَع٢ فاش

اوانه يحدث من ابدال ط بكمية ض/لـ كما تقدم فى (بند ١٩٩) و ح/ـ بكمية ٤/قط بجعل قط رمزا لقطر انبوبة تحرك الغاز

ع فاع/ح = فاس ـ لـ فاض/ض ـ ٤/قط × وَع٢ فاش (١٦)

٢١٢ وقد نبهنا فى (بند ٢٠١) على انه يوجد بين المتغيرين ع و ض ارتباط بسيط لان الثقل ط ـ ع أو ض ـ ع/لـ للغاز المتصرف فى الثانية الواحدة ثابت وحيث كانت الكميتان لـ و ـ ثابتتين ايضا فى سائر امتداد الانبوبة ينتج من ذلك أن ض ع ثابت وليكن حينئذ ض ع = لـ

فيستنتج من ذلك

$$\text{ع} = \frac{\text{ك}}{\text{ض}} \quad \text{و} \quad \text{فاع} = -\frac{\text{ك فاض}}{\text{ض}^{2}}$$

وبابدال ع و فاع بمقداريهما المذكورين فى معادلة (١٦) يحدث

$$-\frac{\text{ك}^{2}}{\text{ح}} \times \frac{\text{فاض}}{\text{ض}^{3}} = \text{فاس} - \frac{\text{ك فاض}}{\text{ض}} - \frac{4\,\text{و}\,\text{ك}^{2}}{\text{قط}} \times \frac{\text{فاش}}{\text{ض}^{2}}$$

اوانه يحدث من ضرب طرفى المعادلة فى $-\text{ض}^{2}$

$$\frac{\text{ك}^{2}}{\text{ح}} \times \frac{\text{فاض}}{\text{ض}} = -\text{ض}^{2}\,\text{فاس} + \text{ك ض فاض} + \frac{4\,\text{و}\,\text{ك}^{2}}{\text{قط}} \times \text{فاش}$$

وليس فى هذه المعادلة حدّ غير قابل لعملية التكامل مباشرة الا الحد $-\text{ض}^{2}\,\text{فاس}$ لان ض متغير مع س لكن حيث امكن اهمال فرق توازن نهايتى انبوبة توصيل غاز من جهة وتغير الضغط ض تغيرا يسيرا بالنسبة لمقاديره المتطرفة من جهة اخرى لا يحدث الا خطأ يسير جدا من ابدال ض^{2} بالمتوسط العددى لمقاديره وهما ض_{0}^{2} و ض_{1}^{2} المأخوذين فى نهايتى انبوبة توصيل الغاز المذكورة

ومن هنا يعمل تكامل المعادلة الاخيرة فى هذا الفرض بجعل ل رمزا لطول الانبوبة و س رمزا لفرق توازن الطرف الخلفى للانبوبة عن طرفها الامامى فيحدث

$$2{,}3026\,\frac{\text{ك}^{2}}{\text{ح}}\left(\text{لو}\,\text{ض}_{1} - \text{لو}\,\text{ض}_{0}\right) = \frac{1}{2}\left(\text{ض}_{0}^{2} + \text{ض}_{1}^{2}\right)\text{س} + \frac{\text{ك}^{2}}{2}\left(\text{ض}_{1}^{2} - \text{ض}_{0}^{2}\right) + \frac{4\,\text{و}\,\text{ك}^{2}}{\text{قط}} \times \text{ل}$$

وبابدال ك بمقداره وهو $\text{ض}_{1}\text{ع}_{1}$ الحاصل فيه الضغط ض_{1} والسرعة ع_{1} فى الطرف الامامى من الانبوبة اى الطرف الذى يتصرف منه الغاز ينتج من ذلك بالسهولة

$$\frac{\text{ع}_{1}^{2}}{\text{ح}}\left(\frac{8\,\text{و}\,\text{ح}\,\text{ل}}{\text{قط}} + 4{,}6052\,\text{لو}\,\frac{\text{ض}_{0}}{\text{ض}_{1}}\right) = \frac{1}{2}\left[\left(\frac{\text{ض}_{0}}{\text{ض}_{1}}\right)^{2} - 1\right] + \frac{1}{2}\left[\left(\frac{\text{ض}_{0}}{\text{ض}_{1}}\right)^{2} + 1\right]\text{س} \qquad (17)$$

٢١٣ ولاجل استعمال هذه المعادلة يلزم ابدال ك بمقداره المقرّر في معادلة (٥) وهو $\frac{1}{ب}$ × ٧٩٥٥ (١ + ٠٫٠٠٤ ع)
وابدال وَحـ بعدد حادث من التجربة
وقد ظهر للمهندس نافير بواسطة نتائج التجاريب التي عملها المهندسان اللذان هما دوبويسون وجيرار انه يمكن ايا ما كان الغازان بجعل

$$وَحـ = ٠٫٠٠٣٤٨$$

وينتج من ذلك أن المكرّر وَ يكون ٠٫٠٠٠٣٥٥ وهذا العدد يساوي تقريبا المكرر وَ الموافق لتحرك الماء في الخلجان المكشوفة

٢١٤ فاذا اريد اجتناب استعمال اللوغاريتمات امكن بمقتضى ما ذكر (في بند ٢٠٤) ابدال ٢٫٣٠٢٦ لو $\frac{ضـ}{ضـ_1}$

بكمية $\frac{ضـ - ضـ_1}{\frac{1}{2}(ضـ + ضـ_1)}$ او ٢ $\left[1 - \frac{2}{\frac{ضـ}{ضـ_1} + 1}\right]$

وبذلك تؤول معادلة (١٧) الى هذه الصورة

$$\frac{ع_1^2}{2حـ}\left[\frac{8وَحـ ل}{قط} + 4\left(1 - \frac{2}{\frac{ضـ}{ضـ_1}+1}\right)\right] = \frac{ك}{2}\left[\left(\frac{ضـ}{ضـ_1}\right)^2 - 1\right]$$

$$+ \frac{1}{2}\left[\left(\frac{ضـ}{ضـ_1}\right)^2 + 1\right] س \qquad (١٨)$$

(تطبيق على ما تقدم)

٢١٥ اذا فرضت انبوبة طولها $ل = ١٠٠٠م$
وقطرها $قط = ٠٫٢٠م$
وانحدارها الكلي $س = ٢٥م$
وفرض ايضا ان في الطرف الذي يتصرّف منه الغاز موصلا صغيرا قطره $قطَ = ٠٫٠٦م$

وان الطرف الذى يدخل منه الغاز فى الانبوبة مركب على حوض محتوعلى هواء درجته ٣٠٠° وان هذه الدرجة فى سائر امتداد الانبوبة حينئذ تساوى ايضا ٣٠٠° وان كمية الهواء المتصرفة فى الثانية الواحدة المقيسة فى الضغط ٠,٧٦ من البارومتر وفى درجة صفر من الحرارة تكون ٠,٤٩٣ مترامكعبا اى $هـ = ٠,٤٩٣$

وكان المطلوب الضغط فى داخل الحوض والضغط الخارج على النهاية التى يتصرف منها الغاز وهو الضغط المقابل للارتفاع ٠,٧٥ من البارومتر فالجواب ان يقال

ليكن $ضـ_1$ و $ق_1$ و $ع_1$ رموزا الى الضغط والقطع والسرعة فى منفذ الخروج وليكن $ضً$ و $ق$ و $عً$ كما فى (شكل ٦٣) رموزا الى الكميات المشابهة للمتقدمة فى نقطة قريبة من منفذ الخروج ولتكن $ضَ$ و $قَ$ و $عَ$ رموزا الى الكميات المشابهة للمتقدمة فى نقطة قريبة من منفذ الدخول الذى فيه الضغط $ضـ$ مجهول والسرعة معدومة تقريبا فتؤول معادلة (١٢) التى يجعل فيها $د = ٠$

و $لً = ٧٩٥٥ \, (١ + ٠,٠٠٤١ \times ٣٠٠) = ١٧٥٠١٠$

الى هذه الصورة

$$\frac{ع_1^2}{2ج}\left[-\left(\frac{ضَ\,ق_1}{ضً\,ق}\right)^2\right] = ٣٥٠٢٠ \times \frac{ضً - ضـ_1}{ضً + ضـ_1} \qquad (١٩)$$

وتكون السعة الحقيقية لمنفذ الخروج مساوية $\frac{1}{٤}$ ط $(٠,٠٦)^2$ غيرانه يحصل انضمام بعد المنفذ يستدعى لهذه السعة مكررا قدره ٠,٩٤ انظر (بند ٢٠٨) ومن ذلك يحدث

$$ق_1 = \frac{٠,٩٤}{٤}(٠,٠٦)^2 \times ط = ٠,٠٠٠٨٤٦\ ط$$

وبمقتضى المعالم المتقدمة يحصل

$$ق = \frac{1}{٤}\ ط\ (٠,٢٠)^2 = ٠,٠١\ ط$$

ومن ذلك ينتج

$ق_1$

$$\frac{\text{ن}_1}{\text{ن}} = \text{٠٫٠٠٠٨٤٦}$$

وتكون السرعة ع_1 ناتجة ايضا من المعالم المذكورة لأن ه_1 اى المتصرف فى الثانية الواحدة بالنسبة للضغط ض وللدرجة ٣٠٠° من الحرارة هو $\text{ه}_1 = \text{٠٫٠٤٩٢} \times \frac{\text{٠٫٧٦}}{\text{٠٫٧٥}} (\text{١} + \text{٠٫٠٠٤} \times \text{٣٠٠}) = \text{١٫٠٨٦}$ ومنها ينتج

$$\text{ع}_1 = \frac{\text{ه}_1}{\text{ن}_1} = \frac{\text{١٫٠٨٦}}{\text{٠٫٠٠٠٨٤٦ ط}} = \text{٤٠٨}$$

و

$$\frac{\text{ع}_1^2}{\text{د٢}} = \text{٨٤٨٥}$$

وحينئذ تؤول معادلة (١٩) الى هذه الصورة

$$\text{٨٤٨٥} \left[\text{١} - (\text{٠٫٠٠٠٨٤٦})^2 \left(\frac{\text{ض}_1}{\text{ض}''}\right)^2 \right] = \text{٣٥٠٠٢٠} \times \frac{\text{ض}'' - \text{ض}_1}{\text{ض}'' + \text{ض}_1}$$

وباختصار ذلك واستبدال $\frac{\text{ض}''}{\text{ض}_1}$ بالحرف ح يحدث

$$\text{١} - \frac{\text{٠٫٠٠٠٠٧٢}}{\text{ح}^2} = \text{٤١٫٢٥} \; \frac{\text{ح} - \text{١}}{\text{ح} + \text{١}} \qquad (\text{٢٠})$$

وباهمال $\frac{\text{٠٫٠٠٠٠٧٢}}{\text{ح}^2}$ لصغره جدا بالنسبة الى ١ تؤول المعادلة الى الدرجة الاولى فيتحصل معنا حينئذ

$$\text{ح} = \frac{\text{١} + \text{٤١٫٢٥}}{\text{٤١٫٢٥} - \text{١}} = \text{١٫٠٥}$$

ويمكن ان يستنتج من ذلك $\text{ح}^2 = \text{١٫١٠٢٥}$ وان يوضع هذا المقدار التقريبي فى معادلة (٢٠) لاجل أن يستخرج لكمية ح مقدارا اضبط من المتقدم فيتحصل $\text{ح} = \text{١٫٠٥٠٦}$ غيرأن فى المقدار التقريبي الاول كفاية فاذن يحدث

$$\text{ض}'' = \text{١٫٠٥} \; \text{ض}_1$$

وبهذا المقدار تحسب $\text{ع}''$ بالسهولة لانه يحدث من (بند ٢٠٢)

$$\text{ض}'' \text{ع}'' \text{ن} = \text{ض}_1 \text{ع}_1 \text{ن}_1$$

ومن ذلك يحدث بسبب ان $ض_ه' = ١,٠٥ \, ض_{ه١}$ و $ق = ٠,٠٨٤٦$ ه

و $ع_١ = ٤٠٨$

$ع' = \frac{٠,٠٨٤٦ \times ٤٠٨}{١,٠٥} = ٣٢,٨٧$ ومنها ينتج

$\frac{ع'^٢}{٢ج} = ٥٥,٠٧$

ويلزم الآن استعمال معادلة (١٨) لاجل تعيين $\frac{ض_ه'}{ض_ه}$ الذى ينبغى وضعه فى هذه المعادلة عوضا عن $\frac{ض_ه}{ض_{ه١}}$ ولنرمز له لاجل الاختصار بالرمز $ـَـ$ ونجعل زيادة على ذلك فى المعادلة المذكورة

$\frac{ع_١^٢}{٢ج} = ٥٥,٠٧$ و $ك = ١٧٥٠١٠$ و $س_١ = ٣٥$

و $ل = ١٠٠٠$ و $قط = ٠,٢٠$ و $ح = ٠,٠٠٣٤٨$

فتؤول معادلة (١٨) الى هذه الصورة

$$٥٥,٠٧ \left[٠,٠٢٧٨٤ \times ٥٠٠٠ + ٤ \left(١ - \frac{٢}{ـَـ + ١} \right) \right] = ٧٨٥٠٠$$

$$(ـَـ^٢ - ١) + ١٢,٥ \, (ـَـ^٢ + ١)$$

أو يحدث بعد عمل الحسابات واختصارها

$$ـَـ^٢ = ١,٠٩ - \frac{٠,٠٠٥}{ـَـ + ١}$$

ويجعل $ـَـ = ١$ فى المقام لاجل تحصيل مقدار تقريبى للمجهول $ـَـ$ يحدث مقدار آخر اضبط من المتقدم وهو

$$ـَـ = \sqrt{١,٠٨٧٥} = ١,٠٤٣$$

ومن هنا ينتج

$ض_ه' = ١,٠٤ \times ض_ه' = ١,٠٤٣ \times ١,٠٥ \times ض_{ه١} = ١,٠٩٥ \times ض_{ه١}$

وحيث أن النسبة $\frac{ض_ه'}{ض_ه}$ والسرعة $ع'$ معلومتان يتحصل $ع'$ بواسطة معادلة (بند ٢٠١) التى هى $ض_ه' ع' = ض_ه' ع'$ ومن هنا يحدث

$$ع' = \frac{٣٢,٨٧}{١,٠٤٣} = ٣١,٥١$$

وبناء على ذلك يحدث

$\frac{ع'^٢}{٢ج}$

$$\frac{ع^٢}{د^٢} = ٦٠\text{،}٥٠$$

فلم يبق علينا لاجل تعيين ضـ الاعتبار الغاز عند مروره من الحوض الى الموصل

فاذا فرض أن منفذ الدخول منفرج انفراجا تاما استعمل لذلك معادلة (٧) أو معادلة (١٢) بان يجعل فيها

د = ٠ و ع = ٠ وحينئذ يحصل

$$\frac{ع^٢}{د^٢} = ك \times ٢\text{،}٣٠٢٦ \; لو \frac{ضـ}{ضـَ} \; أو \; \frac{ع^٢}{د^٢} = ٢ \, ك \frac{ضـ - ضـَ}{ضـ + ضـَ}$$

وبابدال $\frac{ع^٢}{د^٢}$ بمقداره ٦٠ ،٥٠ و ك بمقداره ١٧٥٠١٠ يحدث

$$لو \frac{ضـ}{ضـَ} = \frac{٠\text{،}٠٠٠٢٨٩١٤}{٢\text{،}٣٠٢٦} = ٠\text{،}٠٠٠١٢٥٥$$

ومن هنا ينتج

$$\frac{ضـ}{ضـَ} = ١\text{،}٠٠٠٢٨٩ \; او \; \frac{ضـ - ضـَ}{ضـ + ضـَ} = ٠\text{،}٠٠٠١٤٤٥٧$$

ومن ذلك يحدث

$$\frac{ضـ}{ضـَ} = \frac{١\text{،}٠٠٠١٤٥٤٧}{٠\text{،}٩٩٩٨٥٥٤٣} = ١\text{،}٠٠٠٢٨٠$$

ويشاهد انه يحدث من المعادلتين المتقدمتين نتيجة واحدة وأن ضـ لا تختلف عن ضـَ الا اختلافا قليلا ويحصل مثل ذلك فيما اذا كانت انبوبة تحرك الغاز غير منفرجة المدخل بمعنى انها تكون كموصل اسطوانى وفى هذه الحالة يمكن اعتبار تأثير الموصل مكافئا تقريبا الانتقاص القطع اولازدياد السرعة بنسبة ٠،٩٣ الى ١ فاذن يلزم ان يستبدل في معادلة (٧) و (١٢)

$$\frac{ع^٢}{د^٢} \; بعدد \; ٦٠\text{،}٥٠ \times \frac{١}{(٠\text{،}٩٣)^٢} = ٥٨\text{،}٥$$

ومن هنا يستنتج $\frac{ضـ}{ضـَ} = ١\text{،}٠٠٠٣٢$

ويستخرج من ذلك على وجه الاختصار أن نسبة الضغط الداخل ضـ الى الضغط الخارج ضـ تساوى ١,٠٩٥ فاذن تكون معادلة الارتفاع عمود من الزيبق قدره ٠,٧٥م × ١,٠٩٥ = ٠,٨٢١م وحينئذ فارتفاع العمود البارومترى الخارج الموضوع بجوار الحوض الذى ارتفاعه عن المنفذ ٢٥م يكون تقريبا ٠,٧٥ ــ ٠,٠٠٢ = ٠,٧٤٨ والفرق ٠,٠٧٣م يمكن ان يبين بمانومتر معوج

الفصل الثالث

فى الشغل اللازم لادخال كمية معينة من الهواء فى حوض

٢١٦ ولنفرض أن اسطوانة ا ب حـ د كما فى (شكل ٦٤) مملوءة من هواء ضغطه يساوى ضـ وهو ضغط الهواء الخارج وان الغاز الموجود بها مجبور على فتح الساقطة طـ طـ بواسطة مكبس ا ب وعلى دخوله فى حوض يكون ضغط هوائه ضـ والمطلوب فى هذه الحالة الشغل اللازم لحصول ذلك

وليكن س رمزا للبعد ا ح و ـــ رمزا لسعة قطع الاسطوانة و هو رمزا للحجم ـــ س

ولتحرك المكبس حالتان احداهما ان ينتقل من الوضع ا ب الى الوضع اَ بَ ليحول ضغط الهواء الموجود بالاسطوانة من الضغط ضـ الى ضـ وتكون فى هذه المدة الساقطة طـ طـ مغلوقة وليكن سَ رمزا للبعد اَ ح فيحدث بموجب قاعدة المهندس ماريوت

$$سَ = س \frac{ضـ}{ضـ}$$

وثانيتهما ان ينتقل المكبس المذكور من اَ بَ الى حـ د وتكون فى هذه المدة الساقطة طـ طـ مفتوحة

وليكن فى الحالة الاولى م ن و مَ نَ رمزين الى الوضعين القريبين جدا

اللذين

اللذين ياخذهما المكبس و س رمزا الى بعدهما عن المستوى ح د و فاس رمزا الى تباعدهما فاذا جعل ض رمزا الضغط الغاز فى الوقت الذى يشغل فيه المكبس الوضع م ن فانه يحدث بمقتضى قاعدة مريوت

$$ض = \frac{ض_١ س}{س}$$

ويكون شغل القوى الحادث من المكبس فى المدة التى يقطع فيها البعد فاس مع كونه واقعا على جهته الداخلة الضغط ض المتغير وعلى جهته الخارجة الضغط ض١ الثابت

$$(ض - ض_١) \text{ ب فاس}$$

$$\text{او} \quad \text{ب} ض_١ س \frac{\text{فاس}}{س} - ض_١ \text{ ب فاس}$$

$$\text{أو} \quad هـ ض_١ \frac{\text{فاس}}{س_١} - \text{ب} ض_١ \text{ فاس}$$

فاذن يكون شغل القوى المذكورة مدة الحالة الاولى

$$٢٫٣٠٢٦ \text{ هـ } ض_١ \text{ لو } \frac{س}{س'} - ض_١ \text{ ب } (س - س')$$

$$\text{و} \quad ٢٫٣٠٢٦ \text{ هـ } ض_١ \text{ لو } \frac{ض_٢}{ض_١} - ض_١ \text{ ب } (س - س')$$

وفى مدة الحالة الثانية تكون القوتان الحادثتان من المكبس على جهتيه ثابتتين وتكون محصلتهما مساوية ب (ض٢ — ض١) ويكون شغلهما مساويا ب (ض٢ — ض١) س' ولكن هذه الكمية مساوية ومضادة فى الاشارة للحد الاخير من مقدار الشغل فى الحالة الاولى لأن مجموع حدى هذا المقدار الذى يؤول فى مبدأ الامر الى ب ض٢ س' — ب ض١ س يكون معدوما بمقتضى قاعدة المهندس ماريوت فاذن يكون الشغل المطلوب

$$ش = ٢٫٣٠٢٦ \text{ هـ } ض \text{ لو } \frac{ض_٢}{ض_١}$$

تطبيق على ماتقدم

٢١٧ حجم الغاز المظروف فى الاسطوانة يكون ٤٩٣ر٠م اذا كان مقيسا

فى درجة صفر من الحرارة وفى ضغط ٧٦ر٠م ونسبة $\frac{ض_٢}{ض_١}$ = ١٠٫٠٩٥ر

فاذا كان المطلوب الشغل ش عند ما تكون درجة الحرارة ٣٠٠ يحدث

$$هـ = ٠٫٤٩٣ \times \frac{١٠٫٣٣٤}{ض_١} (١ + ٠٫٠٠٤ \times ٣٠٠)$$

ومنها ينتج

$$هـ ض_١ = ١١٢٠٨ \quad و \quad لو \frac{ض_٢}{ض_١} = ٠٫٠٣٩٤$$

وحينئذ يحدث

$$ش = ١١٢٠٨ \times ٢٫٣٠٢٦ \times ٠٫٠٣٩٤ = ١٠١٧$$

كيلوغرامترا فاذا كان هذا الشغل حاصلا فى كل ثانية فبيانه بالخيول المحركة يكون

$$(١ + \frac{١}{٣})١٠٫١٧ = ١٣٫٥٦ \text{ حصانا}$$

تنبيه

٢١٨ متى كانت النسبة $\frac{ض_٢}{ض_١}$ صغيرة كما فى المثال المتقدم امكن

بمقتضى (بند ٢٠٤) ابدال ٢٫٣٠٢٦ لو $\frac{ض_٢}{ض_١}$ بكمية

$$\frac{ض_٢ - ض_١}{\frac{١}{٢}(ض_٢ + ض_١)} \quad او \quad \left[١ - \frac{٢}{١ + \frac{ض_٢}{ض_١}}\right]$$

فتؤول هذه الكمية فى المثال المتقدم الى ٢ $(١ - \frac{٢}{٢٫٠٩٥})$ او

٠٩٠٧ر٠ وهو مقدار لا يختلف عن حاصل ٣٠٢٦ر٠ × ٠٣٩٤ر٠
الا فى الخانة الخامسة من الاعشارى

الفصل الرابع
فى التغيرات الدفعية لقطع انابيب تحرك الغازات

٢١٩ ليفرض كما فى (شكل ٦٥) أن الغاز المار بالقطع أَبَ على صورة خيوط متوازية بسرعة عَ مشتركة وضغط ضَ متوسط يرد الى انية مَنَ أًبً اسطوانية قطعها اعظم من القطع أَبَ وبعد حصول الاهتزاز يتحرك بالابتداء من أًبً على صورة خيوط متوازية بسرعة عً مشتركة وضغط ضً مشترك

فاذا كان المطلوب تعيين السرعة عَ والضغط ضَ بفرض أن عً و ضً معلومان مع بً و بَ اللذين هما سعتا القطعين اً بً و اَ بَ يجرى العمل بكيفية مشابهة للكيفية المتقدمة (فى بند ٣١) ومابعده المقرر فى شأن المائع

وليكن ضَ الضغط الحاصل على العناصر المجاورة للقطع مَنَ سواء كانت جزأ من العرق اَبَ اوكانت محيطة به وحينئذ لا يكون لها فى هذه الحالة الا سرعة ضعيفة وتكون كمية التحرك التى اكتسبتها الجملة مَنَ بً اً فى الزمن ح بجعل ط رمزا الى ثقل المتر المكعب فى الضغط ضً

$$\frac{ط}{ج} \; بً عً ح \; (عً - عَ)$$

أو تكون بمقتضى معادلة (٤)

$$\frac{عً(عً - عَ)}{ج} \; بً \; \frac{ضً ح}{ك}$$

وتكون مساوية للدفع بً (ضَ - ضً) ح ومن هنا تحدث هذه المعادلة وهى

$$\frac{عً(عً - عَ)}{ج} = ك \times \frac{ضَ - ضً}{ضً}$$

وبضم هذه المعادلة الى المعادلة (٨) المقررة (فى بند ٢٠١) التى هى

ضہَ سَ عَ = ضہً سً عً

يتوصل الى كيفية حل المسئلة المذكورة

وبحذف ضہَ بواسطة استبداله بمقداره يحدث

$$\frac{عً(عً - عَ)}{ح} = لـ \frac{سً عً - سَ عَ}{سَ عَ}$$

أو $عً^٢ - (عَ + \frac{لـ ح}{عً}) عً + \frac{لـ ح سً}{سَ} = ٠$

وهى معادلة بدرجة ثانية للمجهول عَ الذى يستخرج منها

ولنمثل لذلك بمثال فنقول

مثال

٢٢٠ اذا كان الغاز هواء وكانت درجة حرارته ١٣° وكان بناء على ذلك

لـ = ٧٩٥٥ × ١,٠٥٢ = ٨٣٦٩

وفرض أن عَ = ٨٠م و سَ = ٠,٦٥ سً يحدث

$عً^٢ - ١١٠٦ عً + ١٢٦٣٠٦ = ٠$

ومن هنا ينتج عَ = ١٣٠

وحيث أنه حدث من احدى المعادلات المتقدمة

$\frac{ضہً}{ضہَ} = \frac{سً عً}{سَ عَ}$ يستخرج من ذلك فى هذا المثال

$\frac{ضہً}{ضہَ} = \frac{٨٠}{١٣٠ \times ٠,٦٥} = \frac{٨٠}{٨٤,٥} = ٠,٩٤٧$

٢٢١ وبمقتضى هذا الناتج يمكن أن يطلب الضغط بنہ الغاز فى حوض يتصرف منه بسرعة عَ وضغط ضہَ من منفذ سَ بدون انضمام

فيلزم لذلك اجراء العمل بمعادلة (٧) بان يجعل فيها ع =

و د = ٠ و لـ = ٨٣٦٩ و عَ = ١٣٠.

فاذن يتحصل

٨٦١ = ٨٣٦٩ × ٢,٣٠٢٦ لو $\frac{ضہ}{ضہَ}$ = ١٩٢٧٠ لو $\frac{ضہ}{ضہَ}$

ومن

ومن هنا ينتج لو (ضہ / ضہَ) = ٠٫٠٤٤٦٨ و (ضہً / ضہَ) = ١٫١٠٨

وبناء على ذلك يكون (ضہ / ضہَ) = ١٫١٠٨ × ٠٫٩٤٧ = ١٫٠٤٩

فلو حسبت السرعة عً بفرض أن العرق يتصرّف مباشرة بهذه السرعة في ضغط ضًہ لكان يحدث

(عً٢ / ٢ح) = ٨٣٦٩ × ٢٫٣٠٢٦ لو ١٫٠٤٩ = ١٩٢٧٠

× ٠٫٠٢٠٧٧٥ = ٤٠٠٫٣

ومنها يحدث

عً = ٨٨٫٦

وحينئذ تكون نسبة السرعة الحقيقية الى هذه السرعة المحسوبة

(٨٠ / ٨٨٫٦) = ٠٫٩٠

٢٢٣ ويمكن أن يقتصر في المسائل العملية المعتادة على استعمال القوانين المنسوبة للموائع في الانضمامات والتغيرات الدفعية للسرع ولا يستعمل الحل المتقدم الا في الحالة التي تتغير فيها الانضغاطات كثيرا لانه لا يمكن فرض الكثافة ثابتة

فى الطلمبات ذات التحرك المستقيم المتردد

٢٢٣ القطعة المهمة المتحركة من الطلمبة هى المكبس الذى له تحرك متردد فتارة يكون سمكه صغيرا ويكون محبوكا بجلد أو بغيره من المواد المرنة و يتحرك فى اسطوانة محكمة تعرف بمجرى المكبس وتارة يكون كتلة اسطوانية معدنية منتظمة السمك طولها اكبر من طول مسافة المكبس وسطحها المحدب منزلف فى علبة محشوة وهذا المكبس المعروف بالغطاس يتحرك فى اسطوانة غير محكمة بدون أن يمسها وتعرف ايضا بمجرى المكبس

وفى مدة التحرك المتردد للمكبس يكون داخل مجرى المكبس متصلا على التعاقب بواسطة ساقطتين مع انبوبتين احداهما غاطسة فى بئر وهى المعروفة بالانبوبة الماصه والاخرى هى المعروفة بأنبوبة الرفع وقد يكون مجرى المكبس مغمورا بماء البئر فحينئذ تكون الانبوبة الماصة قصيرة بحيث لا يعتبر لها وجود

٢٢٤ ويمكن ان تكون احدى الساقطتين مرتبطة بالمكبس الذى يكون به منفذ تفتحه وتغلقه بالتعاقب وتنقسم الطلمبات التى لها مكبس ذو ساقطة الى نوعين بحسب كون الساقطة المعروفة بالساقطة القارة مستعملة للاستطراف بين مجرى المكبس والانبوبة الماصة أو انبوبة الرفع

٢٢٥ وفى صورة العكس وهى ما اذا كان المكبس مصمتا تكون الساقطتان قارتين ومنسوبتين احداهما للانبوبة الماصة والاخرى لانبوبة الرفع

٢٢٦ وكان يكفى ترتيب الطلمبات بحسب وضع السواقط فى ترتيب انواع هذه الآلات لكن جرت العادة بترتيب آخر وبيان ذلك ان الطلمبه يقال لها ماصة اذا كان مجرى المكبس كله أو جزء منه مرتفعا عن توازن الماء فى البئر وبذلك يكون دخول الماء فى مجرى المكبس حاصلا من تأثير ضغط الجو و يقال للطلمبة رافعة متى كان الماء المرفوع والمكبس الموجود بالمجرى صاعدين فى زمن واحد

ويقال للطلمبة كابسة متى صعد الماء فى انبوبة الرفع عند نزول المكبس فى مجراه

٢٢٧ ويلزم ايضا اعتبار ساق المكبس فى ترتيب الطلمبات أولا من جهة وضعه بالنسبة للمكبس فانه يكون تارة فوقه وتارة تحته

وثانيا من جهة خروجه من مجرى المكبس فانه يكون خارجا تارة من منفذ متسع وتارة من علبة محشوة

٢٢٨ والطلمبات التى تقدم ذكرها هى الطلمبات البسيطة التأثير لانها لا ترفع الماء فى انبوبة الرفع الا مدة صعود المكبس أو مدة هبوطه

ويقال للطلمبات مضعفة التأثير متى كان المكبس يرفع الماء فى انبوبة الرفع فى مدة صعوده وفى مدة هبوطه ويكفى لذلك مكبس مصمت واربع سواقط قارة

ومن ذلك يحصل دوام تحرك المائع المرفوع

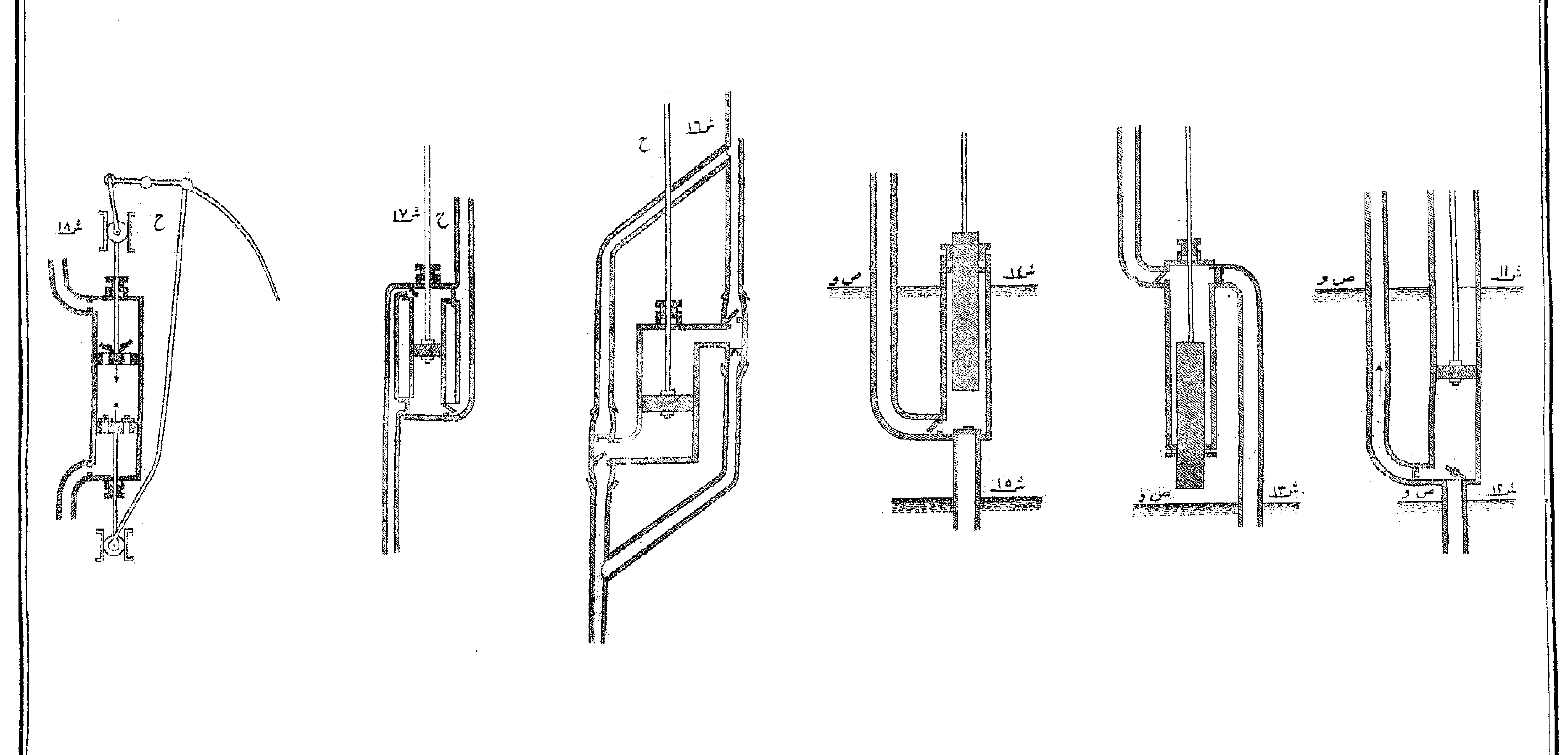
ويمكن الوصول الى هذا الناتج باستعمال مجرى مكبس واحد ومكبسين يكون احدهما هابطا عندما يكون الآخر صاعدا

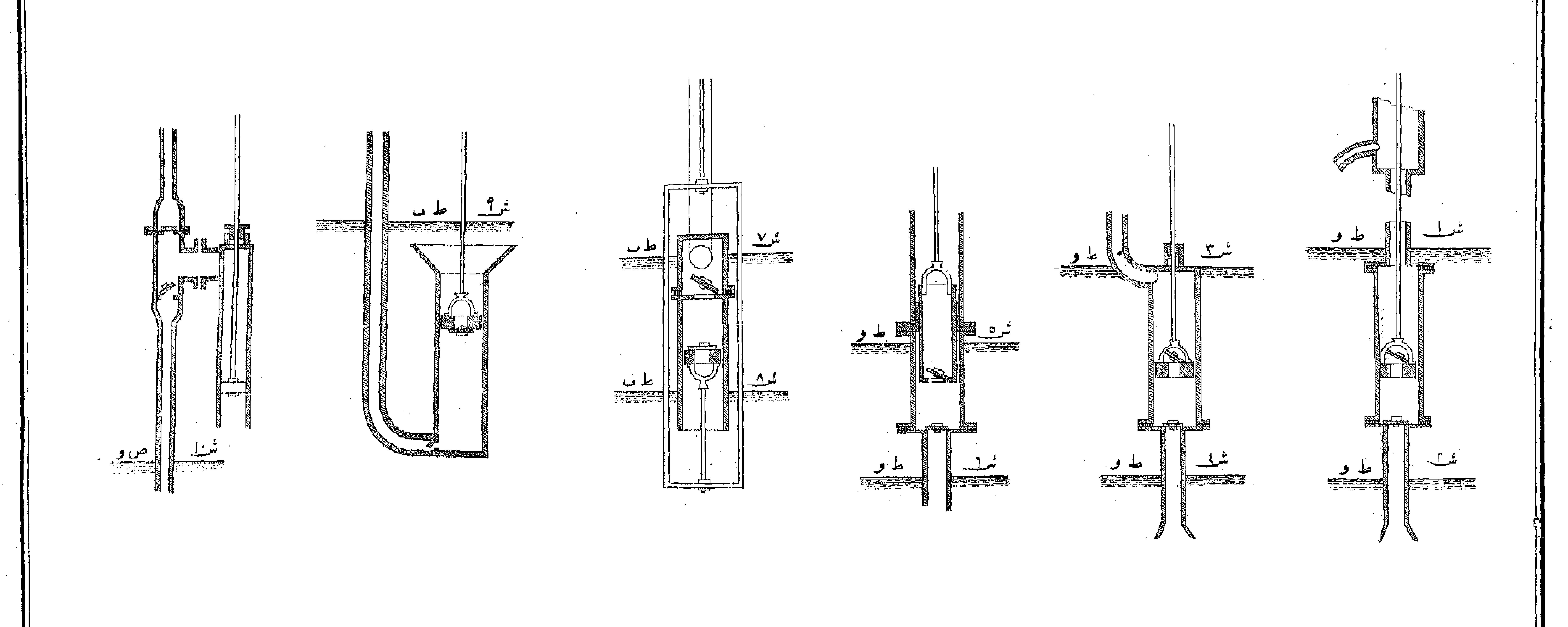
وقد تحصل مع المهندس اسما لون تحرك منتظم للماء المرفوع فى طلمبة ماصة رافعة وذلك انه جعل لساق المكبس المغمور فى الانبوبة الماصة قطعا مساويا لنصف قطع مجرى المكبس

٢٢٩ وهذه القواعد العمومية كافية فى ايضاح الخواص المتنوعة بجملة طلمبات مبينة فى اللوحتين الاخيرتين من الاشكال ومعروفة فى الجدول الآتى

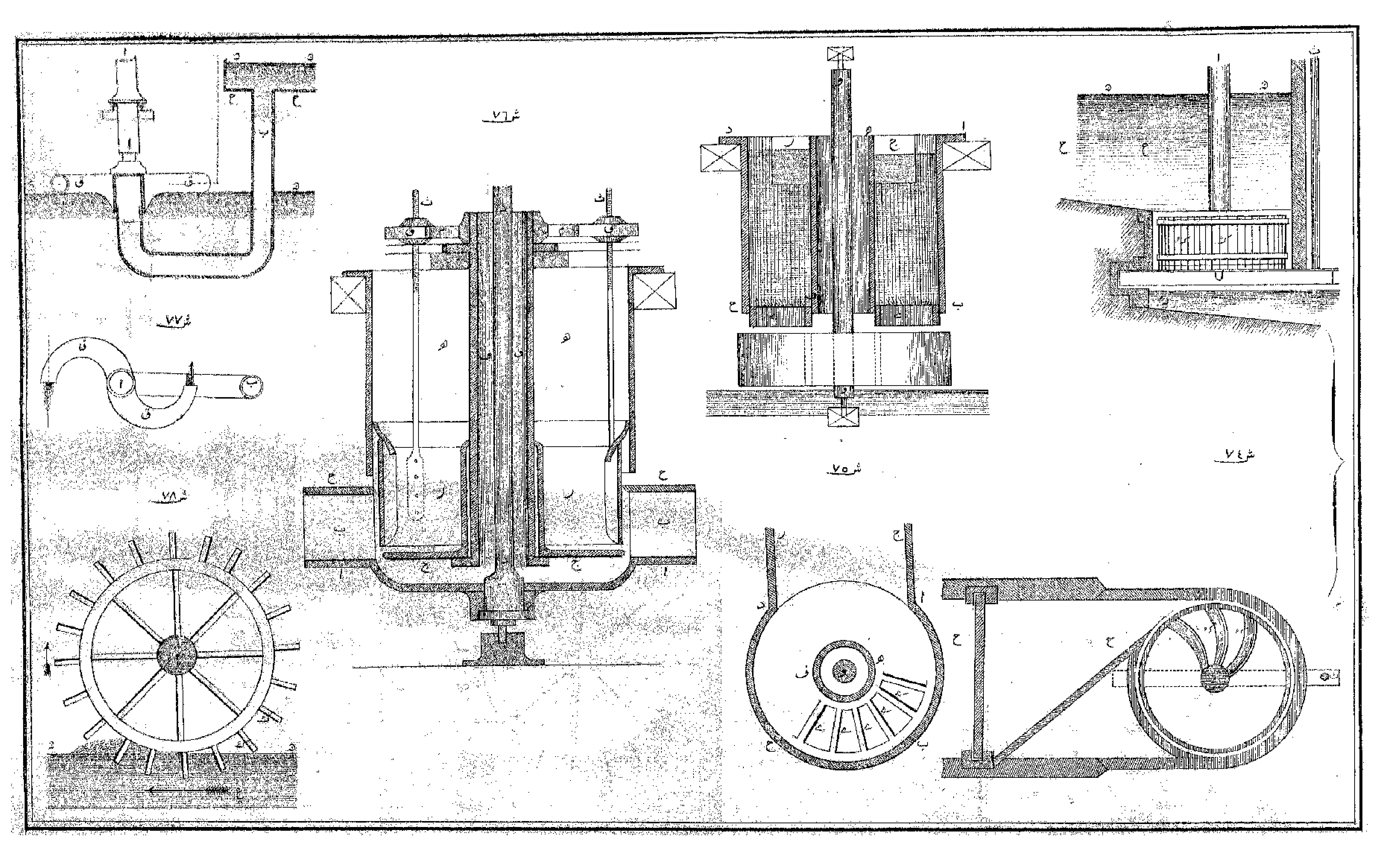
٢٣٠ وهو يتضمن ترتيب الطلمبات ذات التحرك المستقيم المتردد وهاك صورته

طلمبات

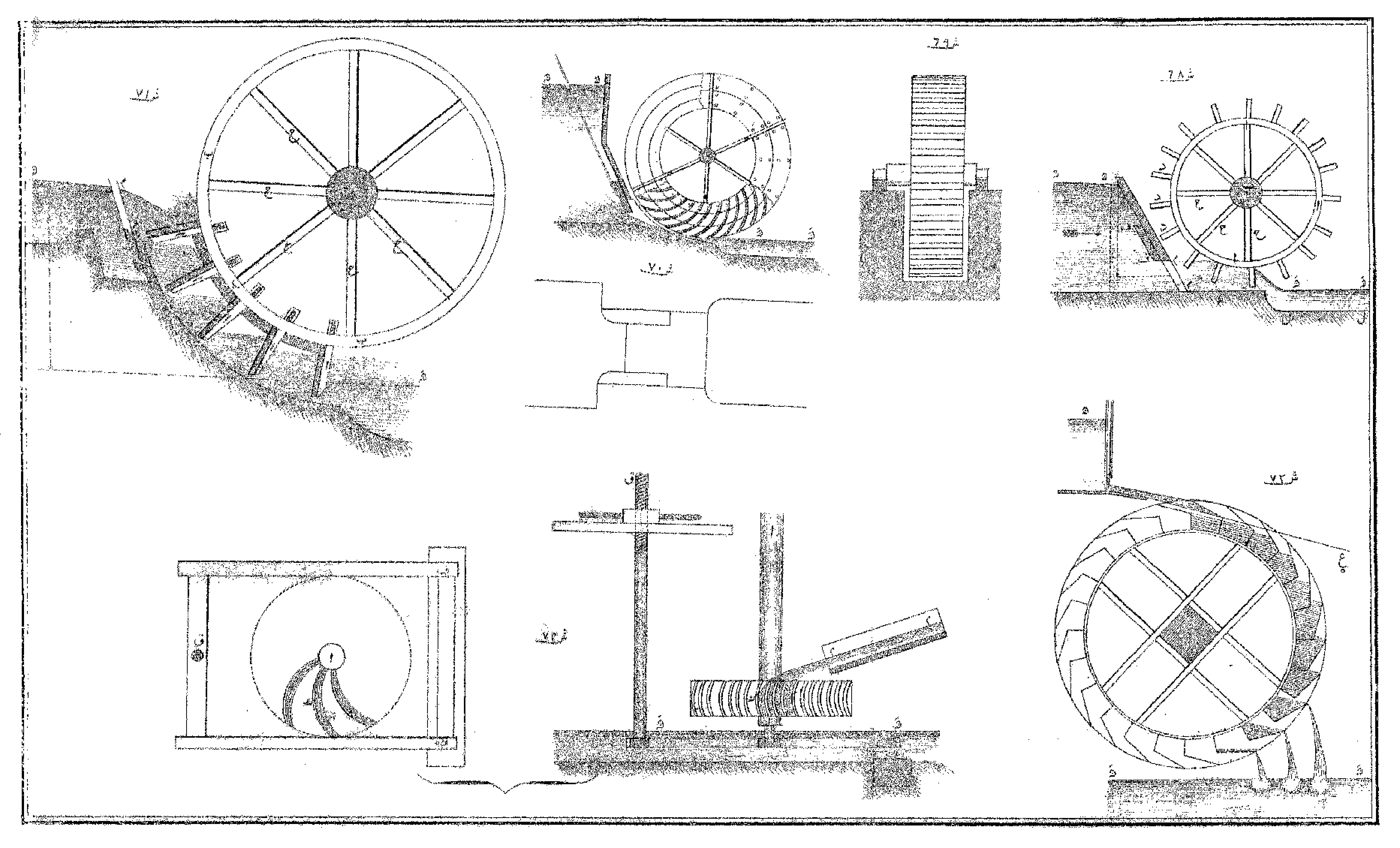

ش ١٨
ح
ش ١٧
ح
ش ١٦
ح
ص و
ش ١٤
ش ١٥
ش ١٣
ص و
ص و
ش ١١
ص و
ش ١٢

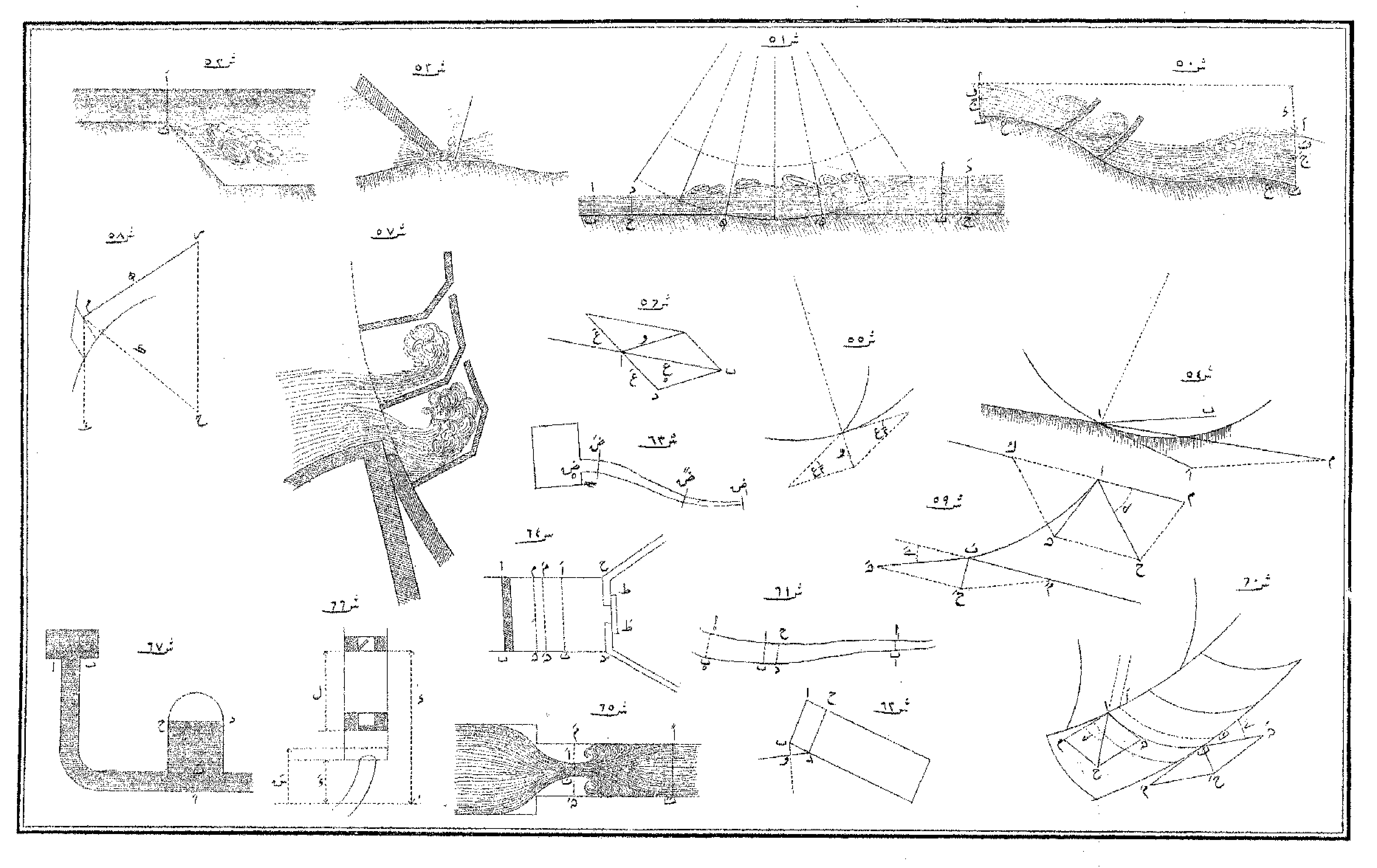


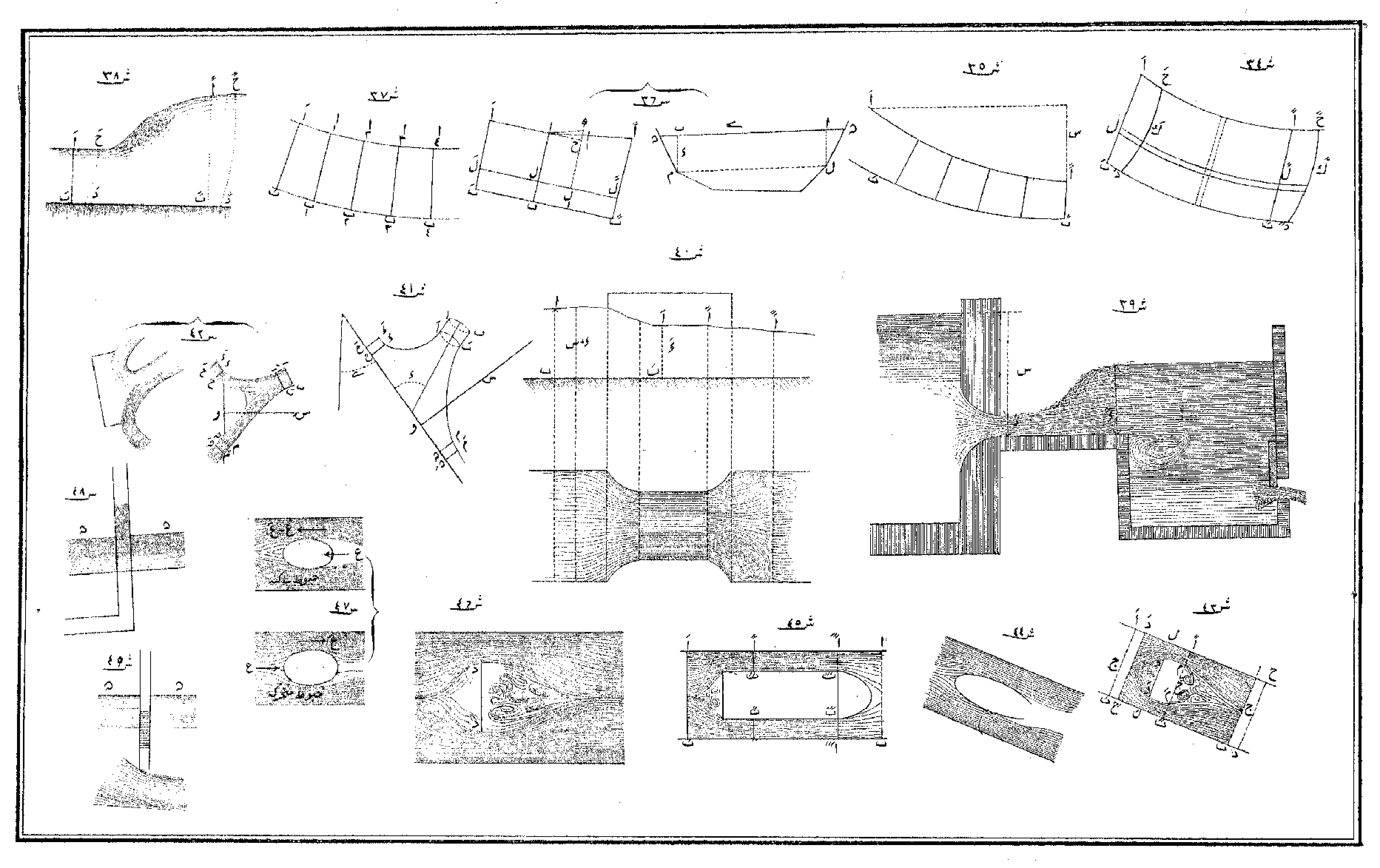
ش ١
ط و
ش ٢
ط و
ش ٣
ط و
ش ٤
ط و
ش ٥
ط و
ش ٦
ط و
ش ٧
ط ب
ش ٨
ط ب
ش ٩
ط ب
ش ١٠
ص و

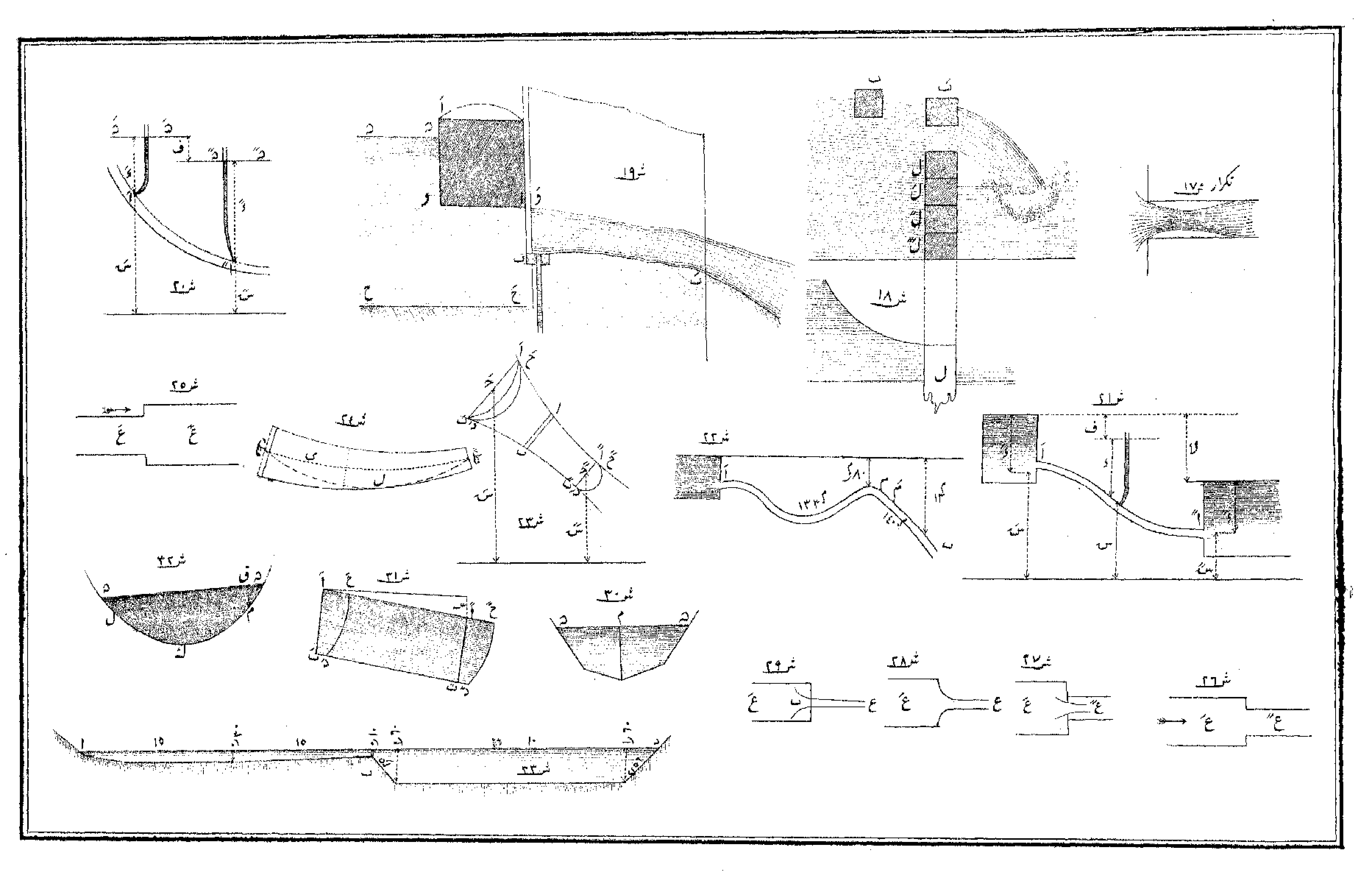


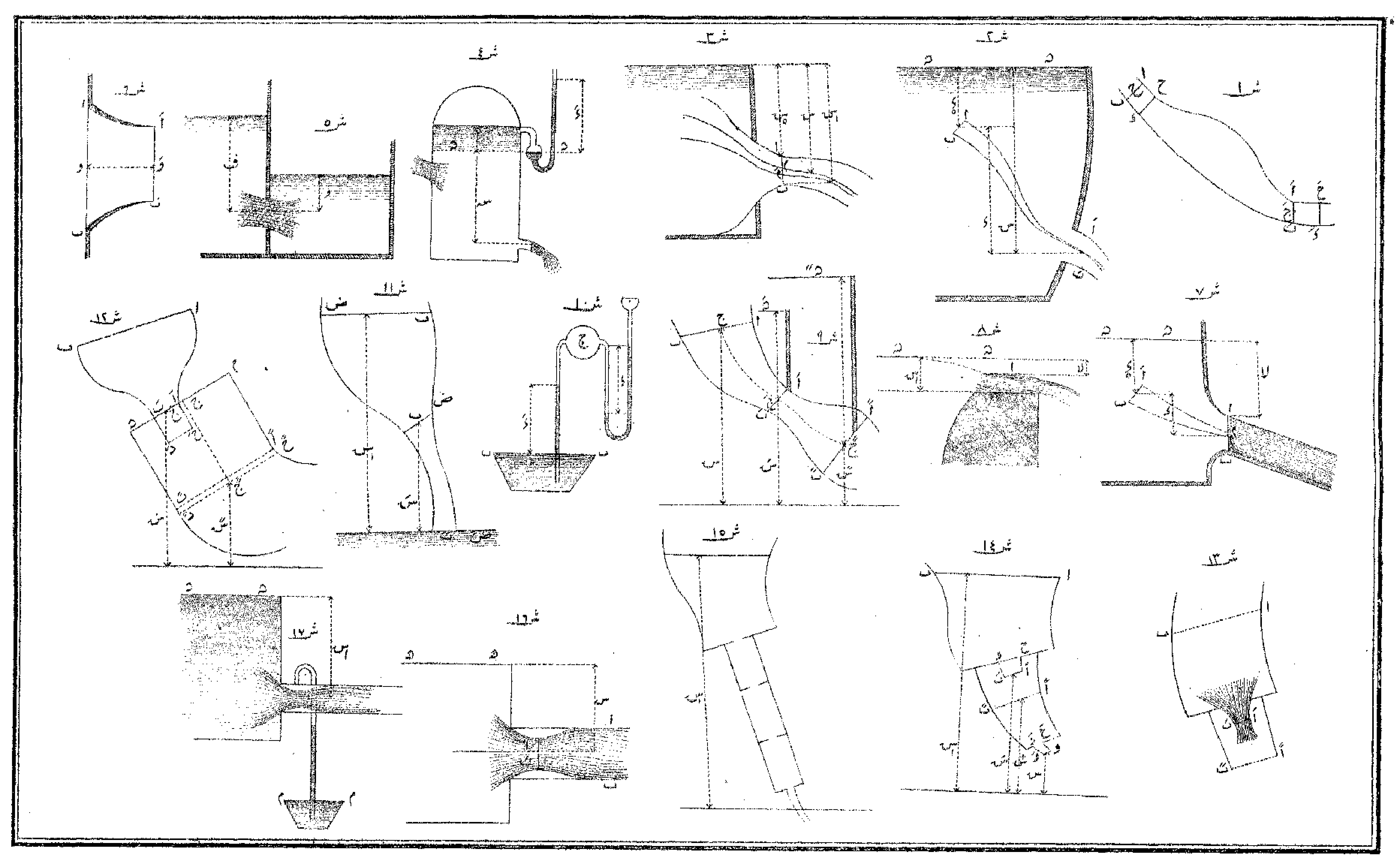
شـ٧٦
شـ٧٧
شـ٧٨
شـ٧٥
شـ٧٤











٢٣١ ويتضمن حساب الطلمبة اوّلا ملأها اعنى الحوادث التى تحصل من ابتداء الوقت الذى يتحرّك فيه المكبس بفرض أن الانابيب فارغة الى الوقت الذى تكون فيه الانابيب المذكورة مملوءة

وثانيا شروط توازن الطلمبة مملوءة

وثالثا شغل القوى اللازمة لتحريكها وتحصيل تأثير مفيد معين

٢٣٢ اذا علمت ابعاد طلمبة ماصة ساقطتها القارة موجودة بين البئر ومجرى المكبس انظر (شكل ٢ و ٤ و ٦ و ١١ و ١٣ و ١٥ و ١٧) امكن أن يعين بواسطة الحساب عدّ رجات المكبس اللازمة لتوصيل الماء فوق الساقطة المذكورة ولنقتصر على معرفة الشرط اللازم لحصول رفع الماء فوق الساقطة بأن نعتبر حالة خصوصية يمكن حصولها وهى الحالة التى يصعد فيها الماء فى الانبوبة الماصة الى ارتفاع لا يتجاوزه وان بلغ احكام السواقط عند غلقها ما بلغ بحيث ان الهواء لا ينفذ منها وان بلغت ايضا ما بلغت سهولة دورانها واحكام المكبس فى مجراه

وليكن ح رمزا الى الحجم الاسطوانى المتولد من احدى وجهى المكبس مدّة صعوده أو هبوطه

و ع رمزا الى الحجم غير المنتظم الصورة الموجود فى مجرى المكبس بين المكبس والساقطة القارة فى وقت اقترابهما الاعظم وهذا هو المعروف فى بعض الاحيان بالفراغ المضر و س رمزا الى الارتفاع الرأسى للماء المرفوع فى انبوبة المص بعد عدة رجات من رجات المكبس

و د رمزا لارتفاع الماء المعادل للضغط الجوى فى المحل المعتبر

وحين يكون المكبس فى اعظم بعده عن ساقطة المص يكون حجم الهواء المحصور بينه و بينها ح + ع ويكون ضغطه مبينا بالارتفاع د ـ س

وحين ينتقل المكبس الى النهاية الاخرى من مسافته اى الى اصغر بعد منها بفرض

ان الساقطتين باقيتان على انغلاقهما يؤول حجم الهواء المذكور الى الحجم ع وبناء على ذلك يكون ضغطه

$$\frac{\text{ح}+\text{ع}}{\text{ع}}\left(\text{د}-\text{س}\right)$$

اذا تقرر هذا يحصل احد امرين الاول ان يكون الضغط الاخير المحسوب اكبر من ضغط الجو وحينئذ تنفتح ساقطة الرفع ويتصرف جزء من الهواء ويحصل من رجة جديدة للكبس حجم لما بقى من الهواء قدره ح+ع فاذن يحدث من ذلك تخلخل اعظم من الذى حصل من الرجة المتقدمة وبناء على هذا يزداد الارتفاع س

الثانى ان يكون الضغط الاخير المحسوب مساويا للضغط الجو وحينئذ تبقى ساقطة الرفع مغلوقة ولا تتغير حالة الهواء فى انبوبة المص من رجة جديدة للكبس فاذن يكون الارتفاع س ثابتا ويتعين هذا الارتفاع فى هذه الحالة بمعادلة

$$\frac{\text{ح}+\text{ع}}{\text{ع}}\left(\text{د}-\text{س}\right)=\text{د}$$ التى ينتج منها

$$\text{س}=\text{د}\times\frac{\text{ح}}{\text{ح}+\text{ع}}$$

وحينئذ يلزم فى الطلمبات أن يكون ارتفاع ساقطة المص اقل من هذه الكمية فاذا كان ارتفاع عمود الزيبق البارومترى يساوى ٠٫٧٤م مثلا فانه يحدث بقطع النظر عن حرارة الماء

$$\text{د}=١٠٫٣٣\text{م}\times\frac{٠٫٧٤}{٠٫٧٦}=١٠٫٠٦\text{م}$$

وليكن $\text{ع}=\frac{١}{٨}\text{ح}$ فينتج من ذلك

$$\text{س}=١٠٫٠٦\times\frac{٨}{٩}=٨٫٩٤\text{م}$$

٢٣٣ ويحدث من التجربة حد ارتفاع اصغر من الكمية المتقدمة

اولا بسبب ثقل السواقط

وثانيا بسبب الهواء الذى ينفذ من السواقط ويدخل فى أنبوبة المص

وثالثا بسبب الهواء الذى يتصرف من الماء عند تناقص الضغط الحاصل على

سطحه

سطحه

ورابعا بسبب البخار الذى يتصاعد عاجلا ويملأ المسافة المتخللة الهواء لاسيما اذا كان الماء ساخنا فاذا بلغ الماء درجة الغليان لا يحصل امتصاص اصلا وفى هذه الحالة يلزم استعمال طلمبة رافعة فقط أو طلمبة كابسة فقط

٢٣٤ ويمكن حصول عارض آخر وهو أن الماء بعد أن يصل فوق ساقطة المص يمتنع عن الصعود ولنعتبر طلمبة ماصة رافعة من الطلمبات المبينة فى (شكل ٢ أو ٤) مجرى مكبسها محكم ولنجعل ح و د باقيين على معناهما المتقدم وليكن سَ رمزا الارتفاع الماء المرفوع فوق البئر و حَ رمزا الحجم الموجود بين الماء المرفوع والمكبس عند غاية هبوطه

وما تقدم من البرهان (فى بند ٢٣٢) يستعمل بالضبط للبرهنة على انه يحصل معنا فى حالة الوقوف التى نحن بصددها معادلة

$$سَ = د \times \frac{ح}{ح + حَ}$$

والفرق الحاصل هنا هو أن حجم حَ المتعلق بالارتفاع سَ اصغر من حجم ح الثابت

وينتج من الشرط حَ < ح ومن المعادلة المتقدمة

$$سَ > د \times \frac{ح}{ح + حَ}$$

ومن ذلك يحدث انه اذا كان د $\times \frac{ح}{ح + حَ}$ اكبر من أصغر ارتفاع للمكبس فوق البئر لا يمكن تحقيق حالة الوقوف المذكورة

ويمكن بالسهولة تعيين سَ اذا كان حَ دالة بدرجة اولى لهذا المجهول وليكن ى رمزا للارتفاع الاعظم للوجه الاسفل من المكبس المفروض مستويا وافقيا فوق استواء الماء فى البئر وليكن كما فى (شكل ٦٦) ل رمزا لمسافة المكبس

و ب رمزا لسعة قطع مجرى المكبس فى سائر امتداد الحجم ح + حَ فيحدث

$$\text{ح} = \text{ـل و ح} + \text{عَ} = \text{ـ}(\text{ى} - \text{سَ})$$

فتؤول المعادلة المذكورة آنفا الى هذه الصورة

$$\text{سَ} = \text{د} \times \frac{\text{ل}}{\text{ى} - \text{سَ}} \quad \text{ومنها ينتج} \quad \text{سَ} = \frac{1}{2}\text{ى} \pm \sqrt{\frac{1}{4}\text{ى}^2 - \text{د ل}}$$

ولاجل حصول الوقوف المفروض يلزم اوّلا ان يكون سَ حقيقيا وحينئذ يكون $\text{ل} < \frac{1}{4} \times \frac{\text{ى}^2}{\text{د}}$ وان يكون أيضا سَ اكبر من ارتفاع ساقطة المص وأصغر من $\text{ى} - \text{ل}$ وزيادة على ذلك يقال حيث فرض وصول الماء بعد عدّة من رجات المكبس فوق الساقطة يلزم أن يكون ىَ الذى هو ارتفاع الماء المذكور فوق البئر اكبر من $\text{د} \frac{\text{ح}}{\text{ح} + \text{ع}}$ لكيلا يكون الوقوف حاصلا تحت الساقطة ويشاهد من ذلك انه يلزم للطلمبة مقادير غير مستعملة حتى تستوفى جميع الشروط المتقدّمة

فاذا فرض مثلا $\text{ىَ} = ١,٧٠$م و $\text{ى} = ٧$م و $\text{ل} = ١$م و $\text{د} = ١٠$م

ففى هذه الحالة لا يحصل وقوف تحت الساقطة لانه يحدث

$$\text{س} = ١٠ \times \frac{١}{٥,٣} = ١,٨٨ > ١,٧٠$$

بل يحصل وقوف فوق الساقطة وتحت المكبس لانه يحدث

$$\text{سَ} = \frac{1}{2}\left(٧ - \sqrt{٤٩ - ٤٠}\right) = ٢ \begin{cases} > \text{ىَ} \\ < \text{ى} - \text{ل} \end{cases}$$

ولم نذكر هنا هذه المناقشة القليلة الجدوى الا بسبب انه يوجد فى عدّة مؤلفات انه متى كانت غير المتساوية وهى $\text{ل} < \frac{1}{4} \times \frac{\text{ى}^2}{\text{د}}$ حاصلة امكن حصول وقوفين تحت المكبس

ويشاهد مما ذكر انه يمكن اجتناب كل وقوف وذلك بان تجعل المسافة ع صغيرة بحيث تكون كمية $\text{د} \times \frac{\text{ح}}{\text{ح} + \text{ع}}$ اكبر من أصغر ارتفاع للمكبس فوق البئر ومن البديهى انه يلزم أن يكون اكبر ارتفاع للمكبس اصغر من د .

٢٣٥ ولاجل امتلاء طلمبة بواسطة تحرك المكبس يلزم فى بعض الاحيان ان

طلمبات	مكبس	الساقطة / نوع المكبس	التفصيل	نوع الطلمبة	الشكل	الرمز
طلمبات بسيطة التاثير	مكبس ذو ساقطة ط	ساقطة قارة بين البئر ومجرى المكبس ط و	مكبس محبولـ وساق فى انبوبة الرفع	طلمبه رافعه فقط	شكل ١	ط و
				طلمبه ماصه رافعه	شكل ٢	ط و
			مكبس محبولـ وساق مار بعلبة محشوة	طلمبه رافعه فقط	شكل ٣	ط و
				طلمبه ماصه رافعه	شكل ٤	ط و
			مكبس غطاس ذو ساقطه	طلمبه رافعه فقط	شكل ٥	ط و
				طلمبه ماصه رافعه	شكل ٦	ط و
		ساقطة قارة بين مجرى المكبس وانبوبة الرفع ط ـ	ساقطه قارة فوق مجرى المكبس	طلمبه رافعه فقط	شكل ٧	ط ـ
				طلمبه ماصه رافعه	شكل ٨	ط ـ
			ساقطه قارة فوق مجرى المكبس	طلمبه كابسه فقط	شكل ٩	ط ـ
	مكبس اصم صـ	مكبس محبولـ صـ و	ماء فوق المكبس	طلمبه ماصه رافعه	شكل ١٠	صـ و
			ماء تحت المكبس	طلمبه كابسه فقط	شكل ١١	صـ و
				طلمبه ماصه كابسه	شكل ١٢	صـ و
		مكبس غطاس صـ ـ	ماء فوق المكبس	طلمبه ماصه رافعه	شكل ١٣	صـ ـ
			ماء تحت المكبس	طلمبه كابسه فقط	شكل ١٤	صـ ـ
				طلمبه ماصه كابسه	شكل ١٥	صـ ـ
طلمبات مضعفة التاثير ع			مجرى مكبس واحد ومكبس مصمت	منفذان فى مجرى المكبس	شكل ١٦	ع
			اربع سواقط قارة	اربع منافذ	شكل ١٧	ع
			مجرى مكبس ومكبسان ذوا ساقطتين		شكل ١٨	ع

ان يصب فيها قليل من الماء ليجبر به الخلل الحادث فى السواقط عند غلقها وليجبر به خلل حبكة المكبس ايضا

٢٣٦ ومتى وصل الماء الى انبوبة الرفع فانه لا يزال مرتفعا بها فى زمن رجات المكبس الى ان يصل الى منفذ التفريغ

ولا يعين الماء عند الصعود فى طلمبة الا القوة المحركة وصلابة الآلة ومن الطلمبات الموجودة الان طلمبة مارلى التى ترفع الماء الى ١٦٠ م ويوجد فى معادن وجو طلمبة ترفعه الى ٢٣٠ م

٢٣٧ وتتغير شروط توازن الطلمبات بحسب جنسها ولنتكلم على شروط توازن طلمبة شكل ٢ طو التى مكبسها ذو ساقطة ولذا نتصور أن المكبس يكون آيلا الى رفعة مستوية رقيقة جدا ومربوطة فى الساق بخيط جامد ولاجل حفظ التوازن نتصور أن حجم المكبس وثقله منقولان الى الساق

ولنعتبر الطلمبة فى الوقت الذى يكون فيه المكبس مشرفا على الصعود او صاعدا بتحرك بطئ جدا ولذا نفرض أن القوة ق مؤثرة من اسفل الى اعلى وواقعة على الساق الذى يقع عليه ايضا ثقله ث المؤثر فى الجهة المضادة للقوة المذكورة وفى هذه الحالة تكون ساقطة المكبس مغلوقة وساقطة المص مفتوحة او مشرفة على ذلك ويكون ضغط الماء واحدا على كل من وجهيه اذا قطع النظر عن ثقل الساقطة فى الماء فاذن يكون مقدار الضغط الحاصل على الوجه السفلى من المكبس

ط ـ (د ـ س)

بجعل ط رمزا الى ثقل مترمكعب من المائع و ـ رمزا الى سعة فراغ قطع مجرى المكبس و د رمزا الى ارتفاع الماء الدال على ضغط الجو و س رمزا الى البعد الرأسى للمكبس فوق البئر

ويكون مقدار ضغط الماء الحاصل على الوجه العلوى من المكبس

ط ـ (د + س ـ سـ)

بجعل س رمزا الى الارتفاع الكلى للماء فى الطلمبة فوق البئر فاذن اذا جعلنا هـ رمزا الى شدّ الخيط الساند للمكبس يحدث معنا بجعل ث رمزا الى احتكاك حبكة المكبس

هـ = ط ـ (د + س ـ سـ) ـ ط ـ (د ـ سـ) + ث = ط ـ س + ث

وحيث كان الساق متوازنا فى المائع بواسطة تأثير القوى ق و ث و هـ والانضغاطات الحاصلة له من هذا المائع التى لها محصلة رأسية من أسفل الى اعلا مساوية لثقل حجم المائع المحذوف يحدث معنا بجعل ح رمزا للحجم المغمور من الساق مع حجم المكبس معا

ق + ط ح = ث + هـ

و ينتج من المعادلتين الاخيرتين

ق = ط ـ س + ث ـ ط ح + ث

فحينئذ تكون القوة ق مساوية لثقل عمود اسطوانى من المائع قاعدته تساوى قطع مجرى المكبس وارتفاعه يساوى ارتفاع الماء بالطلمبة فوق البئر زائدا القوة اللازمة لسند الساق والمكبس المعلقين فى المائع بفرضه ساكنا والمغمورين كما هو الواقع وزائدا ايضا احتكاك المكبس

ولنعتبر الآن الطلمبة المذكورة فى الوقت الذى يهبط فيه المكبس بتحرك بطئ جدا فنقول ان الساقطة القارة تكون فى هذه الحالة مغلوقة بخلاف ساقطة المكبس فانها تكون مفتوحة وعلى ذلك يتركب من المكبس ومن ساقه ماعدا احتكاك الحبكة الذى نرمز له برمز ثَ جسم صلب مغمور من جميع جهاته فى مائع سائر اجزاءه متصلة ببعضها فاذن اذا جعلنا قَ رمزا للقوة الرأسية المؤثرة من اعلا الى أسفل التى لابد منها لحفظ التوازن فانه يحدث

قَ = ط ح ـ ث + ثَ

وحيث ان الساق فى العادة معدنى يكون ث اعظم بكثير عن ط ح لاسيما اذا كان للساق طول عظيم خارج عن الماء

٨٢٣ ولا يمكن ان يكون لتعيين احتكاك حبكة المكبس سواء كان صاعدا او هابطا قواعد محققة

وكمية هذا الاحتكاك تتعلق باحوال متنوعة

اولا انها تتعلق بقطر المكبس المناسب لمحيط منع الماء عن الحزير

وثانيا انها تتعلق بالحبكة فاذا كانت هذه الحبكة جلدا ملفوفا أو مقصوصا فان الضغط الحاصل منها على مجرى المكبس يكون مناسبا لارتفاع عمود الماء الذى يحمله المكبس ويظهر ان هذه القاعدة ليست موافقة بالضبط للمكابس المحبوكة بالشيل والعلب المحشوة للمكابس الغطاسة

وثالثا انها تتعلق بصقالة سطح مجرى المكبس المحكم او المكبس الغطاس المحكم

وقد سلم المهندس لانسدورف أن الاحتكاك يكون مبينا بمعادلة

ك = م قط ى

التى يكون فيها قط رمزا لقطر المكبس و ى رمزا لارتفاع الماء المعادل لفرق الانضغاطات الحاصلة من المائع على كل متر من وجهى المكبس و م رمز الكمية متعلقة بجنس السطح المماس للحبكة

وقد وجد المهندس لانسدورف المذكور بالتجربة للكمية م المقادير الاتية بفرض ان طولى قط و ى مقومان بالنسبة للمتر وهذه المقادير هى

	ك
فى مجرى المكبس المتخذ من نحاس اصفر جيد الصقالة	٧
وفى مجرى المكبس المتخذ من الحديد الزهر المحفور فقط (اى غير المصقول)	١٥
وفى مجرى المكبس المتخذ من الخشب المصقول	٢٥
وفى مجرى المكبس المتخذ من الخشب الذى تلف من كثرة الاستعمال	٥٠

وقد يتغير الارتفاع ى فى مدة التحرك المتردد للمكبس غير انه يكون صغيرا فى احد انصاف رحلات مكبس ذى ساقطة حيث ان الضغط يكون حينئذ واحدا تقريبا

على وجهى المكبس وفى هذه الحالة يتناقص الاحتكاك اذا كانت الحبكة مرنة والاولى أن يعتمد على احتكاك ثابت حيث انه لم تعمل تجاريب فى هذا الشأن

٢٣٩ ولنطبق ذلك على الطلمبة الماصة الرافعة فى الوقت الذى يبتدء فيه المكبس فى التحرك الى اعلى فنقول

فى هذه الحالة يكون ء = س وليكن م = ١٥ ويكون حينئذ ث = ١٥ قط س فاذا ابدلنا ث بمقداره هذا فى مقدار ى المقرر فى (بند ٢٣٧) تحصل معنا

ى = (ط ــ + ١٥ قط) س + ث ــ ط ح

أو ى = (٧٨٥ قط² + ١٥ قط) س + ث ــ ط ح

ومن ذلك يشاهد ان الاحتكاك كناية عن كمية يلزم اضافتها الى الارتفاع س وهذه الكمية تساوى $\frac{١٥ س}{٧٨٥ قط}$ أو ٠٢ر٠ $\frac{س}{قط}$ فاذا كان قط يساوى ٢٠ر٠ مثلا فان الزيادة المذكورة تكون مساوية ١ر٠ س

٢٤٠ والقوانين المتقدمة كافية لحساب شروط توازن طلمبة ماصة رافعة وحساب انواع الروافع التى يمكن استعمالها فى تحريك هذه الطلمبة

ولابد من تعيين شغل القوتين ى و ىَ مدة تحرك الطلمبة فاذا ارتفع المكبس الى ارتفاع صغير قدره فاس فان شغل القوة ى يكون ى فاس واذا هبط المكبس من الارتفاع فاس المذكور فان شغل القوة ىَ يكون ىَ فاس

فاذن يكون الشغل الكلى الحاصل من القوتين المذكورتين فى هذين الانتقالين الصغيرين

(ى + ىَ) فاس أو (ط س + ث + ثَ) فاس

وحينئذ فشغل القوتين المذكورتين فى رجة كاملة من رجات المكبس الذى قدر مسافته ل بفرض أن س و ث و ثَ ثابتة كما هو الواقع تقريبا يكون مبينا هكذا

ط ل س + (ث + ثَ) ل

اعنى انه يكون مساويا لثقل الماء الذى حجمه مساو للحجم المتولد من المكبس

مضروبا

مضروبا فى الارتفاع الذى يصعده الماء زآئدا الشغل المنسوب للاحتكاك
وتحصيل هذا كان يمكن بدون واسطة من القاعدة العمومية المتعلقة بتأثير
شغل القوى الواقعة على جسم مامادى

٢٤١ ولنجرى البحث المتقدم فى طلمبة ماصة ذات مكبس مصمت فنقول لتكن
هذه الطلمبة هى المبينة فى شكل ١٠ صـ و
فمتى كان المكبس صاعدا تكون الساقطة الماصة مغلوقة وتكون
ساقطة الرفع مفتوحة فيكون الضغط على الوجه الاسفل من المكبس منسوبا
للجو ومساويا

$$ط ـ د$$

ويكون على الوجه الاعلى مساويا

$$ط ـ (د + س ـــ سـ)$$

فاذن يكون الشد

$$هـ = ط ـ (د + س ـــ سـ) ـ ط ـ د + ت = ط ـ (س ـــ سـ) + ت$$

ويحدث من توازن القضيب كما تقدم

$$ں + ط ع ـــ ث ـــ هـ = ٠$$

فاذن ينتج

$$ں = ط ـ (س ـــ سـ) + ث ـــ ط ع + ت$$

ومتى كان المكبس هابطا تكون ساقطة الرفع مغلوقة والماصة مفتوحة
ويكون الضغط على الوجه الاعلى من المكبس

$$ط ـ (د ـــ سـ)$$

فاذن يكون مقدار ضغط القوة هَ الحادثة من الساق على المكبس لاجل
توازنه والمؤثرة من اعلى الى اسفل

$$هَ = ط ـ د ـــ ط ـ (د ـــ سَـ) + تَ = ط ـ سـ + تَ$$

و ينتج من توازن الساق فى هذه الحالة

$$\text{ق}' - \text{هـ}' - \text{ط ح} + \text{ث} = ٠$$

ومن هنا يحدث $\text{ق}' = \text{ط س}' + \text{ط ح} - \text{ث} + \text{ت}'$

وبمثل ما تقدم يستنتج أن الشغل الحاصل من القوتين ق و ق' في رجة كاملة حاصلة من تحرك بطئ يكون

$$\text{ط ل س} + (\text{ت} + \text{ت}')\text{ل}$$

٢٤٢ ويسهل ايضا شرح الطلمبة الماصة الكابسة المبينة في شكل ١٢ صـ و فيقال متى كان المكبس هابطا فان ضغط الماء على الوجه الاسفل من المكبس يكون

مساويا $\quad \text{ط} (\text{د} + \text{س} - \text{سـ})$

ويكون ضغط الهواء الحاصل على الوجه الاخر

مساويا $\quad \text{ط د}$

فاذن يكون تأثير الساق من اعلى الى أسفل

$$\text{هـ} = \text{ط} (\text{س} - \text{سـ}) + \text{ت}$$

ويحدث من توازن الساق

$$\text{ق} + \text{ث} - \text{هـ} = ٠$$

ومن هنا ينتج

$$\text{ق} = \text{ط} (\text{س} - \text{سـ}) - \text{ث} + \text{ت}$$

ومتى كان المكبس صاعدا فان الضغط الحاصل من الماء على الوجه الاسفل يكون مساويا $\text{ط} (\text{د} - \text{سـ}')$ فاذن يكون تأثير الساق من اعلى الى اسفل

$$\text{هـ}' = \text{ط سـ}' + \text{ت}'$$

ويحدث من توازن الساق المذكور بجعل ق' رمزا للقوة الواقعة عليه من اسفل الى اعلى

$$\text{ق}' = \text{ث} + \text{ط سـ}' + \text{ت}'$$

وحينئذ يحدث

$$\text{ق} + \text{ق}' = \text{ط س} + \text{ت} + \text{ت}'$$

٢٤٣ ويمكن فى الحالتين المتقدمتين (المختصتين بالمكبس المصمت) ان تجعل القوّتان ق و قَ المتضادتان متساويتين

فاذن يحدث معنا للطلمبة الرافعة المبينة فى شكل ١٠ صـ و

ط ـ (س ـ سَـ) + ث ـ ط ع + ت = ط ع ـ ث + ط ـ سَـ +
ط ع ـ ث + تَ

او يحدث معنا باهمال ط ع التى هى كمية متغيرة وصغيرة جدا وجعل
ت = تَ

ط ـ (½ س ـ سَـ) + ث = ٠

ومن ذلك يستخرج سَـ أو ث بحسب كون احدى هاتين الكميتين مجهولة

ويحدث معنا للطلمبة الكابسة المبينة فى شكل ١٢ صـ ـ

ط ـ (س ـ سَـ) ـ ث = ث + ط ـ سَـ

او ط ـ (½ س ـ سَـ) ـ ث = ٠

٢٤٤ وتستعمل القوانين المتقدمة فى الطلمبات ذات المكبس الغطاس المبينة فى (شكل ١٣ و ١٥) بجعل سَـ رمز اللارتفاع المتغير المقابل للنهاية المتطرفة من المكبس المذكور فى داخل مجرى المكبس

والطلمبات المبينة فى (شكل ١٥) تكون فى بعض الاحيان متحركة بواسطة محرك ليس له وظيفة غير رفع الساق الذى يهبط بعد الصعود بواسطة ثقله الذى يكفى لرفع عمود المائع الموجود بانبوبة الصعود فاذن يحدث فى هذه الحالة

ث > ط ـ (س ـ سَـ)

٢٤٥ وليست شروط التوازن المتقدمة كافية لتقويم شغل القوى اللازمة لتحريك الطلمبة مع الانتظام

وينبغى ان يضاف الى الشغل المقاوم الاصلى الحادث من تأثير التثاقل على الماء المرفوع والى الشغل الحاصل من احتكاك المكبس اشغال أخر وهى

اولا الشغل الحاصل من احتكاك الماء فى الانابيب

وثانيا الشغل الذى يتسبب عنه اختناقات للسواقط والتغييرات الدفعية لسرعة الماء على وجه العموم

وثالثا الشغل المنسوب لمصادمة السواقط

ورابعا الشغل الدال على الحدة الكائنة للماء فى رأس العمود الصاعد

٢٤٦ ويحسب الشغل المنسوب لاحتكاك الماء فى الانابيب على وجه السهولة بواسطة القواعد المتقدمة متى كان تحرك الماء فيها دواميا ولا يكون ذلك حاصلا فى الحالة التى تكون فيها الطلمبة بسيطة التأثير لان الماء لا يتحرك فى الانبوبة الا فى مدة احد نصفى رجة المكبس فاذا علمت كيفية تغير سرعة المكبس المذكور فانه يمكن حساب الشغل المنسوب لاحتكاك الماء فى الانبوبة بتسليم فرض ان الاحتكاك متعلق بالسرعة المتوسطة لكل وقت بمقتضى القانون المتقدم كما فى حالة التحرك الدوامى وهذا فرض خطر

وقد شوهد أن شغل المقاومة المطلوبة يكون مكافيا لشغل قوة مبينة بهذا المقدار

$$ط ل ح (و ع + وَ ع^٢)$$

أو انها تكون مبينة مع اهمال المسافة المشغولة بالساق المفروض رقيقا جدا بهذا المقدار

$$\frac{٤ ط ل ح}{ق ط} (و ع + وَ ع^٢)$$

وهى قوة ينبغى أن تعتبر واقعة على نقطة سرعتها كالسرعة المتوسطة للماء ففى مدة ان تتقدم شقة من المائع بالكمية فا ى مع السرعة ع يكون مقدار الشغل المنسوب للاحتكاك

$$\frac{٤ ط ل ح}{ق ط} (و ع + وَ ع^٢) فا ى$$

وحيث كانت كميات ح و ع و فا ى مرتبطة بالكميات الثلاثة وهى

ع ن و

ن و ع و فا سه اعنى قطوع المكبس وسرعته والمسافة التى يقطعها بواسطة المعادلتين

$$\text{سـ وع} = \text{ن ع و سـ فا ى} = \text{ن فا سه}$$

يكون الشغل الجزئى حينئذ

$$\frac{\text{٤ط ل ن}}{\text{قط}}\left[\text{و} \times \frac{\text{ن ع}}{\text{سـ}} + \text{وَ}\left(\frac{\text{ن ع}}{\text{سـ}}\right)^{2}\right]\text{فا سه}$$

وهى كمية يسهل عملية تكاملها بواسطة قانون سامسون متى علمت سرعة المكبس فى كل من اوضاعه وهذا ما يحصل عادة فى الطلمبة التى سوقها متحركة بواسطة مناولات ذات تحرك مستدير منتظم تقريبا

و يسهل الحساب عند ذلك ايضا اذا كانت الطلمبة موضوعة على وجه بحيث تكون السرعة ع منتظمة تقريبا

٢٤٧ ويفهم بالسهولة انه يلزم لاجل نقل كمية معلومة من الماء بواسطة انبوبة معلومة فى زمن معلوم كالساعة مثلا ان يكون شغل الاحتكاك فى التحرك المتقطع للماء اعظم منه فى التحرك المنتظم لانه اذا ابطل التحرك مدة نصف الزمن المذكور كانت سرعة التصرف المفروضة منتظمة مدة النصف الثانى منه ضعف مقدارها فى حالة ما اذا كان التحرك منتظما

وقد شوهد سابقا ان الشغل المقاوم الحادث من الاحتكاك مدة ما يتقدم الماء المسافة فا ى بالسرعة وع يكون

$$\frac{\text{٤ط ل سـ}}{\text{قط}}\left(\text{و وع} + \text{وَ وع}^{2}\right)\text{فا ى}$$

وفى هذه المدة يكون ثقل الماء المرفوع ط سـ فا ى ولنرمز له بالرمز فا ث فيؤول شغل الاحتكاك الى

$$\frac{\text{٤ ل}}{\text{قط}}\left(\text{و وع} + \text{وَ وع}^{2}\right)\text{فا ث}$$

اى ان هذا الشغل يكون فى ثقل واحد من الماء المرفوع مناسبا للكمية ـ وَ وع٢ وحينئذ يكون متزائدا بنسبة اعظم من نسبة السرعة

مثال

اذا كان وع = ٠٫٢٠ يحدث وع + وَع^٢ = ٠٫٠٠٠٠٢٠
و وع = ٠٫٤٠ يحدث وَع + وَع^٢ = ٠٫٠٠٠٠٦٨
ومن ذلك تظهر فائدة التحرك المنتظم فى الانابيب المستطيلة جدًّا وقد يتحصل ذلك على وجه التقريب بطرق متنوّعة

اوّلا بواسطة عدّة مجارى مكابس مستطرقة بانبوبة مص واحدة وانبوبة رفع واحدة

وثانيا بواسطة حياض مملوءة بالهواء

٢٤٨ ويتحصل من ثلاث طلمبات بسيطة التأثير ذات مكابس متحركة بمناولة ثلاثية تصرف منتظم تقريبا فى انبوبتى الرفع والمص المشتركتين فى هذه الطلمبات

ولنفرض ان الطلمبات الثلاثة رافعة فتكون سرعة الماء فى انبوبة جامعة لحاصل هذه الطلمبات متغيرة بالنسبة لمجموع السرعة التصاعدية للطلمبات المذكورة فى وقت واحد

فاذا كانت الاذرعة المحرّكة للطلمبة طويلة طولا كافيا بحيث تكون باقية رأسية تقريبا فى مدّة دورة فان السرعة الرأسية لمكبس هى المسقط الرأسى للسرعة ع التى هى سرعة زر المناولة اعنى ان السرعة الرأسية للمكبس تكون ع جاے بجعل ے رمز الزاوية نصف قطر هذه المناولة مع الخط الرأسى

ويوجد فى بعض اوقات من الدورة مناولتان صاعدتان معا وفى اوقات اخر لا توجد الا واحدة صاعدة فقط ففى الحالة الاولى اذا حدث من احد نصفى قطرى المناولتين المذكورتين مع الرأسى زاوية قدرها ے فانه يحدث من نصف القطر الآخر مع الرأسى المذكور زاوية قدرها ٦٠° − ے

ويكون مجموع السرع التصاعدية

ع [جاے + جا (٦٠° − ے)]

وتتغير مقادير هذا المجموع مدّة ما تكون ے متزايدة من ٠° الى ٦٠°

ويمكن اختصار صورة هذه الكمية لانه يحدث

جاے

جاے + جا(٦٠° ـــ ے) = جاے + جا٦٠° جتاے ـــ جتا٦٠° جاے

لكن حيث ان

جا٦٠° = جتا٣٠° وان جتا٦٠° = جا٣٠° = ١/٢

ومن ذلك يحدث

١ ـــ جتا٦٠° = جا٣٠

يكون

جاے + جا(٦٠° ـــ ے) = جاے جا٣٠° + جتاے جتا٣٠° = جتا(٣٠° ـــ ے)

وهى كمية تتغير عند ماتزداد ے من ٠° الى ٦٠° بهذه الكيفية

ے = ٠° و ١٠° و ٢٠° و ٣٠° و ٤٠° و ٥٠° و ٦٠°

جتا(٣٠° ـــ ے) = ٨٦٦ر٠ و ٩٤٠ر٠ و ٩٨٥ر٠ و ٠٠٠ر١ و ٩٨٥ر٠ و ٩٤٠ر٠ و ٨٦٦ر٠

وفى الحالة الثانية وهى التى لا يوجد فيها الا مناولة واحدة صاعدة فقط تكون سرعة هذه المناولة ع جاے وتكون الزاوية ے متزايدة من ٦٠° الى ١٢٠° وبناء على ذلك يكون ع جاے مكافيا ع جتاے بجعل ےَ رمز الزاوية متغيرة من ٣٠° الى ٠° ثم من ٠° الى ٣٠° فاذن يأخذ جا ے المقادير المتقدّمة

وحينئذ تكون نسبة اصغر سرع الماء فى الانبوبة المشتركة الى اكبر هذه السرع فى الانبوبة المذكورة كنسبة عددى ٨٦٦ر٠ و ٠٠٠ر١

٢٤٩ واما وظيفة الحوض المملوء بالهواء المتصل بانبوبة رفع الطلمبة قريبا من نهايتها السفلى فانه يسهل ادراكها الان الحوض المذكور يحفظ فى نهاية الانبوبة المذكورة ضغطا ثابتا تقريبا يختلف قليلا عن الضغط الموافق للتحرّك الدوامى للماء المرفوع وان كان يحدث من رجات مكبس الطلمبة تصرّف متقطع

فاذا كانت انبوبة المص طويلة جدّا فالاصوب ان يصنع بها حوض هوائى مملوء هواء لكى يكون للماء فى هذه الانبوبة تحرّك دوامى تقريبا وينتج من هذين

الحوضين ان تحرك مجسم الماء لايكون متقطعا الابين الحوضين المذكورين وبذلك تكون مصادمات السواقط معدومة تقريبا

٢٥٠ والحياض الهوائية هي ايضا واسطة في منع المصادمات الشديدة الحاصلة لانابيب توصيل الماء الطويلة التي بها والب عندما تغلق هذه اللوالب سريعا فيكون الحادث الذي يحصل حينئذ معروفا باسم الصدمة الكبشية

وليكن اأ رمزا الى انبوبة توصيل مستطرقة من نقطة ب بحوض مملوء بالهواء ضغطه عين الضغط الحاصل في نقطة بَ بقطع النظر عن الفرق الحادث من الماء المرفوع في هذا الحوض وليفرض كما في (شكل ٦٧) ان التصرف يكون مقطوعا دفعة واحدة في أَبَ وهو قطع حاصل في الجهة الامامية من المحل الذي تتصل فيه الانبوبة بالحوض الهوائي

فيدخل جزء صغير من الماء الموجود بانبوبة التوصيل في الحوض الذي يتزايد فيه ضغط الهواء ويحدث منه على المائع شغل مقاوم الى الوقت الذي تنعدم فيه سرعة الماء ولنبحث في هذا الوقت الاخير عن ضغط هواء الحوض بفرض ان الاهتزازات الحاصلة مدة الحادث المذكور من انبوبة التوصيل تكون صغيرة جدا ولا يكون حادثا منها على المائع الا كميات من الشغل سالبة وموجبة بالتوالي متماحية ثم نقطع النظر عن احتكاك الانبوبة في مدة الحادث المتقدم

وليكن لـ رمزا الى طول انبوبة التوصيل وهي اأ

و ســ رمزا الى قطعها

و ع رمزا الى سرعة الماء في وقت الغلق الحاصل في القطع أَبَ

فتكون حدة الماء في هذا الوقت

$$\frac{ع^٢}{٢ء} \times ط\ لـ\ ســ$$

وحيث ان الحدة الانتهائية معدومة يحدث

$$-\ \frac{ع^٢}{٢ء} \times ط\ لـ\ ســ = ش \quad [ن]$$

بجعل

بجعل ش [ن] رمزا الى المجموع الجبرى لشغل القوى الخارجة وهى

اولا ضغط الغاز المظروف فى الحوض

وثانيا الضغط الحاصل من الجو على ا الذى هو اصل انبوبة التوصيل

وثالثا تأثير التثاقل

فاذا جعل اولا ح و ضـ رمزين الى حجم وضغط كل متر من هواء الحوض فى الوقت الابتدائى وهما كميتان معلومتان بالفرض و ح و ضـ رمزين الى الكميتين المشابهتين للمتقدمتين فى وقت ما من مدة الحادث اى مدة انضغاط الغاز يحصل معنا بقطع النظر عن تغير درجة الحرارة

ح ضـ = ح ضـ = ك وهى كمية ثابتة

و يكون المقدار الحقيقى للشغل السالب الحاصل من الغاز على الماء عندما ينتقل سطح الماء فى الحوض و يقطع الحجم فا ح هو

ضـ فا ح او ك فا ح / ح

فاذن اذا جعل حَ رمزا الى حجم الهواء فى الوقت الاخير فانه يرى ان الشغل الكلى الحادث من الهواء على الماء يكون

ــ ك ∫ فا ح / ح (من ح الى حَ) او ــ ٢٦ ٣٠٢ ر ٢ ك لو (حَ / ح)

لكنه يوجد ايضا بين حَ وضغط ضـَ الانتهائى المقابل له هذا الارتباط

حَ ضـَ = ك = ح ضـ

وثانيا اذا جعل ضـ١ رمزا الى ضغط كل متر فى ا الذى هو اصل انبوبة التوصيل يكون حينئذ الضغط الكلى الحاصل على القطع ــ هو ضـ١ ــ و يكون شغله فى المدة الصغيرة للحادث المذكور حاصلا من ضرب ضـ١ ــ فى المسافة المقطوعة بعناصر المائع التى تكون موجودة مدة الوقت الاخير فى ا ب

ولكن حاصل ضرب ــ فى المسافة المذكورة هو الحجم الداخل من القطع ا ب

فى انبوبة التوصيل وهو المساوى للحجم ع ــ عَ للماء الداخل فى الحوض

فاذن يكون شغل ضـ ــ هو

ضـ (ع ــ عَ)

وثالثا يكون شغل التثاقل مدة الحادث المذكور متعلقا بارتفاع القطع اب فوق المستوى ح د الذى هو توازن الماء فى الحوض وليكن ى رمزا الى هذا الارتفاع فيكون الشغل المطلوب حينئذ

ط (ع ــ عَ) ى

وبالاختصار تؤول معادلة تأثير الشغل الى هذه الصورة

ــ ع٢/ح٢ ط ل ــ = ــ ٢٬٣٠٢٦ ع ضـ لو (ع/عَ) + (ضـ + ط ى) × (ع ــ عَ) (١)

وبضم معادلة عَ ضـَ = ع ضـ الى هذه المعادلة تحصل جبريا طرق حساب عَ و ضـَ

٢٥١ ويمكن حل معادلة (١) بابدال عَ بعدة مقادير متوالية الى ان يتحصل فى الطرف الثانى عدد قريب بالكفاية من الاول

فاذا فرض من مبدء الامر ان نسبة ع/عَ لا تتجاوز عن ٢ او ٣ امكن على وجه التقريب ابدال ٢٬٣٠٢٦ لو (ع/عَ) بكمية ٢ (ع ــ عَ)/ــــ

كما فى (بند ٢٠٤) وحينئذ تؤول معادلة (١) الى معادلة بدرجة ثانية للمجهول عَ

مثــال

٢٥٢ اذا فرض ان الطول ل لانبوبة توصيل من ا الى اَ يساوى ١٥٠٠م وان قطرها يساوى ٠٬٣٠م ينتج من ذلك ان حجم الماء الموجود بها من ا الى اَ يكون

$$\frac{1}{4}\,\text{ط}\times ٠{,}٠٩\times ١٥٠٠ = ١٠٦\ \text{م}^{\text{ك}}$$

وان ثقله يكون

$$\text{ط ل} = ١٠٠٠\times ١٠٦ = ١٠٦٠٠٠$$

فاذا فرضنا ان سرعة الماء فى الحالة الدوامية تساوى ٠,٧٠٧٤ يستخرج من ذلك بمقتضى جدول المهندس مارى تصرف فى الثانية الواحدة قدره ٠,٠٥ م^ك ومفقود ضاغط منسوب الى الاحتكاك قدره ٠,٠٠٢٤٨ فى كل متر من طول الانبوبة فاذن يكون مقدار المفقود الكلى الحاصل فى ١٥٠٠م الذى هو طول الانبوبة ٣,٧٢م ويحدث ايضا بسبب ان

$$\text{ع} = ٠{,}٧٠٧٤$$

$$\frac{\text{ع}^2}{٢\text{ء}} = ٠{,}٠٢٥٥$$

واذا فرض ان الارتفاع ء وهو الانحدار الكلى لانبوبة التوصيل يساوى ٢٥م يتحصل الضغط فى أ بضم ٢٥م الى الضاغط الحاصل فى النقطة ا وهو يساوى ضغط الجو زائدا ضغط الماء الذى قدره ١,٢٠م فيكون حينئذ معادلا لارتفاع من الماء قدره ١٠,٣٣م + ١,٢٠م او ١١,٥٣م $= \frac{\text{ض}_{\text{ا}}}{\text{ط}}$

ومن ذلك يحدث $\frac{\text{ض}_{\text{أ}}}{\text{ط}} = ١١{,}٥٣\text{م} + ٢٥ - ٣{,}٧٢\text{م} = ٣٢{,}٨١\text{م}$

وهو الضاغط فى النقطة أ

وبالجملة اذا فرض ان الحجم ج لاصل الهواء المضغوط يساوى ٠,٦ م^ك فان معادلة (١) تؤول بمقتضى الفروض المذكورة الى

$$٠{,}٠٢٥٥\times ١٠٦٠٠٠ = \left(٢{,}٣٠٢٦\ \text{لو}\ \frac{\text{ج}}{\text{ج}'}\right)\times ٠{,}٦\times ٣٢٨١٠$$
$$-\ (١١٥٣٠ + ٢٥٠٠٠)\ (\text{ج} - \text{ج}')$$

اوالى

$$٠{,}٠٧٤ = ٠{,}٥٣٨٨\left(٢{,}٣٠٢٦\ \text{لو}\ \frac{\text{ج}}{\text{ج}'}\right) - \text{ج} + \text{ج}' \qquad (٢)$$

اوانه يحدث بواسطة ابدال $٢{,}٣٠٢٦\ \text{لو}\ \frac{\text{ج}}{\text{ج}'}$ بمقداره التقريبى وهو $٢\,\frac{\text{ج}-\text{ج}'}{\text{ج}+\text{ج}'}$

$$٠٫٠٧٤ = ١٫٠٧٧٦ \frac{ج - ح}{ج + ح} - (ج - ح)$$

ومنها ينتج $ح^٢ - ج^٢ + ١٫٠٧٧٦ (ج - ح) = ٠٫٠٧٤ (ج + ح)$

اوانه يحدث بجعل ج = ٠٫٦

$ح^٢ - ١٫١٥ ح = - ٠٫٢٤$ ومنها ينتج

$ح = ٠٫٥٧ \pm ٠٫٢٨$

والموافق هنا هو مقدار ٠٫٢٩ الثاني دون غيره لان ح اصغر من ج ويمكن البرهنة على ان هذا المقدار يحقق معادلة (٢) بوجه تقريبي كاف لانه يوجد

$٠٫٠٣٨٨ (٢٫٣٠٢٦ لو \frac{٠٫٦٠}{٠٫٢٩}) + ٠٫٢٩ = ٠٫٦٨$

عوضا عن ٠٫٦٧ لكن اذا وضع لكمية ح المقدار ٠٫٣٠ شوهد انه صحيح تقريبا ولا يختلف الا باقل من ٠٫٠١

ومن ذلك يؤخذ ان الضغط ضـ الانتهائي المبين على العموم بكمية ضـ × $\frac{ج}{ح}$ يكون في هذه الحالة ضعف الضغط ضـ الابتدائي

فاذا كان ج نصف الحجم المفروض له بمعنى انه يكون مساويا ٠٫٣ فانه يحدث من معادلة (١)

$$٠٫٠٧٤ = ٠٫٢٦٩ (٢٫٣٠٢٦ لو \left(\frac{ج}{ح}\right)) - (ج - ح)$$

اوانه يحدث على وجه الاختصار

$$٠٫٠٧٤ = ٠٫٥٣٩ \times \frac{ج - ح}{ج + ح} - (ج - ح)$$

ومن هنا ينتج بجعل ج = ٠٫٣

$ح^٢ - ٠٫٦١٣ ح = - ٠٫٠٤٩٥$

ومن ذلك ينتج ح = ٠٫٣٠٦ - ٠٫٢١ = ٠٫٠٩٦

فيكون الضغط الانتهائي اكبر من ثلاثة امثال ضـ وحينئذ يشاهد انه يمكن حساب حجم الهواء الذي يلزم ان يكون مظروفا في الحوض لكيلا يتجاوز

اعظم

اعظم الانضغاطات الحادثة من الضربات الكبشية الماء المعين له

٢٥٣ ويمكن حساب الشغل المقاوم الحادث من اختناقات سواقط الطلمبات حسابا تقريبيا بواسطة القوانين المنسوبة للتغيرات الدفعية للقطع فى انابيب التوصيل

٢٥٤ ويصعب تعيين الشغل المقاوم المنسوب لاصطدام السواقط بواسطة الحساب لكنه يرى بالسهولة ان هذا المفقود والمتقدم يمكن تنقيصهما بسبب بطء تحرك المكبس وفى العمل لا تتجاوز السرعة المتوسطة للمكبس عادة ٣٠ر٠ فى الثانية الواحدة

ويحسب حجم الماء المرفوع بطلمبة بطيئة التحرك بدون تحرير بواسطة الحجم الاسطوانى الذى يتولد من المكبس وينقص فى العمل حجم الماء المرفوع بالطلمبات المتقنة ٣ أو ٤ فى المائة

واما فى الطلمبات الاعتيادية فانه ينقص عادة من ١٠ الى ٢٠ فى المائة ويذكر فى بعض التجاريب ان حجم الماء المرفوع بطلمبة يجاوز الحاصل النظرى لهذه الطلمبة وذلك ناتج من السرعة الحاصلة للماء فى انبوبتى المص والرفع كذا ية لمنع السواقط عن الهبوط حين يشرع المكبس فى هبوطه غير ان فائدة ذلك لا تعادل الضرر الناشئ عن المصادمات الشديدة التى تكون حينئذ حاصلة فى السواقط

تم بحمد الله

وكان الفراغ من تمام طبعه بدار الطباعة العامره المنشأة ببولاق
مصر القاهره ادام الله عز منشيها ومشيد مبانيها
صاحب السعادة الابديه والهمة العمريه والفخر
العلى الحاج محمد على وذلك لخمسة عشر
خلت من صفر الخير سنة ١٢٦٤ من
الهجرة النبوية على صاحبها
افضل الصلاة وازكى
التحية

